

ÉVALUATION DE LA CAPACITÉ DE MESURE DES OUTILS DE LA RÉSILIENCE URBAINE

Par Houssam Fokri

Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement et développement durable en vue de l'obtention du grade de maîtrise en environnement (M. Env.)

Sous la direction de David King-Ruel

MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Février 2021

SOMMAIRE

Mots clés : résilience urbaine, adaptation, transformation, systèmes complexes, systèmes socioécologiques,

La résilience urbaine est devenue un sujet d'actualité autour duquel se concentre une quantité croissante de publications et de rapports techniques et scientifiques. Les défis et les besoins de planification urbaine auxquels sont confrontées les villes nourrissent la demande dans ce domaine. Pour y répondre, un nombre croissant d'outils de mesure sont publiés dont le but est de déterminer le niveau de résilience d'une ville donnée pour ensuite en déduire des plans d'action. L'objectif de cet essai est de déterminer jusqu'à quel point ces outils permettent de véritablement mesurer la résilience urbaine.

L'étude a permis de mettre en lumière la diversité des conceptions autour de la résilience et les principes différents sur lesquels ces conceptions sont basées. Cette diversité se retrouve également dans le champ plus étroit de la résilience urbaine. Les deux grandes oppositions principales concernent la résilience spécifique par rapport à la résilience générale ainsi que la résilience de conservation par rapport à la résilience d'évolution. Bien que les discours et publications consultés privilégient une conception générale et évolutive de la résilience, les résultats de l'étude montrent que les outils ne suivent pas cette tendance. Ces derniers ne s'intègrent totalement dans aucune de ces grandes catégories. Ils présentent des caractéristiques empruntant aussi bien à la résilience de conservation qu'à la résilience évolutive. Le constat qui se dégage cependant est celui d'une difficulté à intégrer des moyens de mesure rendant compte de la résilience évolutive. Ainsi les outils restent classiques dans leur conception et mesurent des capacités plus proches de la conservation que de l'évolution. Partant du fait que les conceptions récentes de la résilience tendent vers le paradigme général et évolutif, les résultats de l'étude soulèvent la question de la mesurabilité même de ce type de résilience ainsi que du risque associé à l'utilisation d'outils qui ne la représentent qu'imparfaitement.

Une série de recommandations est déduite de l'étude. Les principales se résument en une prise de distance critique par rapport aux outils et la reconnaissance de leur imperfection ce qui conduit à recommander l'utilisation d'autres méthodes en parallèle comme les études de prospective ou l'exploration de paradigmes alternatifs comme la planification biomimétique. Ces méthodes ne visent pas à remplacer les outils, mais à les compléter de manière à ne pas se restreindre dans ses choix d'action. Il est également recommandé de développer une connaissance intime des réalités locales pour orienter le choix de l'outil le plus pertinent dans la profusion des outils disponibles.

REMERCIEMENTS

Un travail de si longue haleine ne peut se faire sans l'appui et le soutien de nombreuses personnes pour lesquelles je voudrais ici exprimer ma plus profonde reconnaissance.

Je voudrais remercier en premier lieu mes parents sans lesquels rien n'aurait été possible. Les mots ne peuvent qu'être dérisoires pour exprimer les sentiments que je leur porte. Merci à eux pour le soutien sans faille qu'ils m'ont témoigné tout au long de cette aventure. Un soutien aussi bien moral que matériel et une confiance jamais démentie malgré les nombreuses difficultés. Merci à eux de m'avoir transmis cette curiosité, ce goût du vrai et du questionnement et cette sensibilité humaniste qu'ils ont toujours portée et qui guide leur être.

Je veux également et grandement remercier David King-Ruel, mon directeur d'essai pour m'avoir accordé sa confiance. Travailler avec David est un plaisir certain. Sa disponibilité, son sens de l'écoute, ses réflexions pertinentes, sagaces et inventives m'ont poussé à élargir mes horizons, à adopter des points de vue différents et à aller au fond des choses. Son soutien dans les moments de doute, qui furent nombreux, a été précieux. Les qualités humaines dont il a également toujours fait preuve ont donné une saveur particulière à notre collaboration. Qu'il en soit généreusement remercié.

Mes remerciements vont aussi à Judith Vien qui a si souvent et régulièrement donné de son temps pour suivre ma progression et me tenir motivé pendant les quelques semaines difficiles que j'ai traversées. Merci grandement à elle pour ces rencontres hebdomadaires qui m'ont permis de tenir la distance, de rester motivé et de prendre parfois un peu de recul par rapport aux nombreuses inquiétudes qui m'assaillaient. Merci également pour la grande compréhension dont elle a fait preuve à mon égard.

Enfin, je voudrais remercier mes amis avec lesquels j'ai partagé les moments de joie et d'abattement. Merci pour les nombreux fous rires qu'on a eus et les nombreux projets farfelus discutés autour d'un verre ainsi que pour les soutiens mutuels qu'on s'est accordés pendant cette difficile période. Merci à eux d'avoir été là et de continuer à l'être.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
1 LA NOTION DE RÉSILIENCE : ORIGINES ET UTILISATIONS	3
1.1 Petite étymologie.....	3
1.2 Passage dans le domaine scientifique et premières définitions.....	4
1.3 Résilience d'ingénierie	5
1.4 Résilience fonctionnelle	6
1.5 Un nouveau cadre	7
1.6 Résilience écologique.....	8
1.7 Résilience socioécologique	9
1.8 Bref bilan.....	11
2 LA RÉSILIENCE URBAINE.....	13
2.1 Les défis conceptuels	13
2.1.1 La ville, un système complexe.....	14
2.1.2 La ville, un système socioécologique	16
2.2 Conceptions, définitions et caractéristiques principales de la résilience urbaine.....	17
3 LES OUTILS ET INDICATEURS DE LA RÉSILIENCE URBAINE	24
3.1 De la nécessité des indicateurs et de ce qu'ils mesurent	24
3.1.1 Définition et fonctions élémentaires	24
3.1.2 Caractéristiques et dimensions mesurées	25
3.2 Les outils de mesure de la résilience	29
3.2.1 Baseline Resilience Indicators for Communities (BRIC)	29
3.2.2 Disaster Resilience Index (DRI).....	30
3.2.3 A Framework on Resilient Cities (FRC).....	32
3.2.4 City Resilience Index (CRI).....	35
4 COMPARAISON ET ÉVALUATION DES OUTILS DE MESURE DE LA RÉSILIENCE.....	37
4.1 Démarche méthodologique	37
4.1.1 Critères d'évaluation et leurs justifications	37
4.2 Évaluation comparative des outils.....	41
4.2.1 Le BRIC.....	41
4.2.2 Le DRI	43
4.2.3 Le FRC.....	44
4.2.4 Le CRI.....	45

5	ANALYSE ET DISCUSSION	48
5.1	La diversité des outils.....	48
5.2	Le problème de la mesure	51
5.3	L'approche biomimétique.....	53
	CONCLUSION.....	57
	LISTE DES RÉFÉRENCES.....	59
	ANNEXE 1 : DEFINITIONS DE LA RESILIENCE URBAINE.....	68
	ANNEXE 2 : INDICATEURS DU BRIC	71
	ANNEXE 3 : INDICATEURS DU FRC	72
	ANNEXE 4 : INDICATEURS DU CRI	80

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 3.1 Articulation des dimensions de la résilience d'un ménage.....	28
Figure 3.2 Schéma des dimensions de l'outil et de quelques indicateurs	33
Figure 3.3 Dimensions et indicateurs du CRI	35
Tableau 1.1 Trois conceptions de la résilience	11
Tableau 2.1 Résilience spécifique et résilience générale	20
Tableau 3.1 Caractéristiques de la résilience urbaine	26
Tableau 3.2 Dimensions de la résilience urbaine	27
Tableau 3.3 Dimensions et indicateurs du BRIC	30
Tableau 3.4 Dimensions et indicateurs proposés par le DRI	31
Tableau 3.5 Dimensions et exemples d'indicateurs du FRC	34
Tableau 4.1 Évaluation comparative des outils	41

LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

BRIC	Baseline Resilience Indicators for Communities
CRI	City Resilience Index
DRI	Disaster Resilience Index
FEMA	Federal Emergency Management Agency
FRC	Framework on Resilient Cities
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
ONU	Organisation des Nations Unies

INTRODUCTION

L'époque contemporaine est caractérisée par une urbanisation croissante et accélérée depuis le milieu du siècle dernier. Si, en 1950 la population urbaine ne représentait que 30 % de la population mondiale, aujourd'hui elle en est déjà à 55 % et les projections pour 2050 nous placent à un niveau de 68 % (United Nations, 2018). En un siècle, la répartition entre villes et campagnes se sera donc presque totalement inversée. La consommation de ressources, mais aussi la création de richesses se concentrent sur des territoires de plus en plus restreints. Déjà, il est estimé que 60 à 80 % de la consommation énergétique globale est due aux villes ainsi que plus de 75 % de la consommation des ressources alors qu'elles ne représentent que 2 % de la surface terrestre (Madlener et Sunak, 2011). La création de richesse est encore plus concentrée puisque 80 % du PIB global est produit par les villes, un PIB dont les 600 villes les plus riches en produisent à elles seules 60 % (McKinsey Global Institute, 2011).

Cette concentration ne va pas sans poser de risques. Dans un contexte de changements climatiques, de raréfaction des ressources ainsi que de bouleversements technologiques et économiques pour n'en citer que quelques-uns, les villes se retrouvent particulièrement vulnérables. La récente pandémie du coronavirus l'a bien illustrée. Nombre de villes ont dû se confiner et ralentir ou mettre à l'arrêt des pans entiers de leurs économies. Les gouvernements ont dû établir des plans d'urgence pour atténuer les effets délétères de cette situation imprévue avec plus ou moins de succès. Par ailleurs, les catastrophes naturelles, dont il est prévu qu'elles augmentent de fréquence et d'intensité coûtent annuellement à la collectivité plus 100 milliards de dollars, un montant destiné à tripler dès 2030 (Gonçalves, 2018).

Dans ce contexte de montée des périls et d'urbanisation accélérés, un concept a émergé et est de plus en plus discuté aussi bien dans le milieu académique que dans le domaine public : celui de résilience urbaine. Prenant acte des tendances précitées et de la nécessité d'y faire face, la résilience a émergé comme un nouveau cadre de pensée pour traiter les questions de risque, de vulnérabilité et de durabilité. Le terme est de plus en plus utilisé par plusieurs organisations internationales comme l'Organisation des Nations Unies (ONU) ou l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) dans leurs publications (Elmqvist et al., 2019). La popularité grandissante du concept de résilience urbaine et sa résonance avec les défis actuels ont poussé à la production croissante d'outils de mesure pour l'évaluer et en déduire des plans d'action.

L'objectif principal de l'essai est de déterminer dans quelle mesure ces outils nous renseignent véritablement sur la résilience. Pour y répondre, il sera nécessaire de passer par plusieurs étapes. Premièrement, le concept de résilience devra être défini et clarifié. Cette étape est importante, car elle

pose les bases sur lesquelles l'essai sera construit. Ensuite, le thème plus spécifique de la résilience urbaine sera exploré. L'essai mettra en lumière les éventuels défis de l'application du concept de résilience en milieu urbain et les subtilités qui en découlent pour tenter ensuite une synthèse. Dans un troisième temps, le cadre général de mesure de la résilience urbaine est présenté ainsi qu'un petit nombre d'outils avec leurs caractéristiques principales. Ces outils seront ensuite évalués après avoir fixé une méthodologie et des critères adéquats. Enfin, une analyse des résultats sera menée ainsi qu'une discussion dont l'objectif sera de répondre à la question de recherche.

La recherche d'information se base essentiellement sur une revue de littérature la plus large et la plus récente possible. Le thème de la résilience urbaine étant relativement récent et en pleine évolution, les sources datant de moins de 10 ans ont été privilégiées avec une attention plus particulière aux cinq dernières années qui ont véritablement vu l'accélération de la recherche sur ce thème. Le premier chapitre ne se pose toutefois pas de limites temporelles particulières, car il traite de l'origine et de l'évolution du concept de résilience en général. Ainsi, des références à des travaux fondateurs ou qui éclairent un aspect historique pertinent seront également présentes. Il n'y aura pas non plus de limites géographiques à la recherche d'information puisque les travaux dans ce domaine ont une portée internationale. La diversité des sources a également été privilégiée afin de rendre compte de la diversité des influences qui ont nourri la résilience principalement dans les domaines de l'ingénierie, de la sociologie et de l'écologie pour ne citer que ceux-là. La diversité des sources concerne également leur provenance. Pour des raisons d'objectivité scientifique et de fiabilité, la majorité des sources provient de journaux à comités de lecture. Cependant, une place est également faite aux rapports des grandes organisations internationales comme l'ONU ou l'OCDE ainsi qu'à celles des organismes gouvernementaux nationaux, des organisations non gouvernementales et des groupes de réflexion. Enfin, des quotidiens de référence ont pu être cités ici ou là pour illustrer un point particulier.

L'essai se découpe en cinq parties et suit les étapes présentées plus haut visant à répondre à la question de recherche. Dans la première partie, une enquête sur le concept de résilience est menée qui vise à explorer son origine, son évolution pour finalement arriver aux conceptions actuelles qui le caractérisent. La deuxième partie s'attache à préciser le concept de résilience urbaine et ses particularités. La troisième partie présente un cadre général de mesure de la résilience urbaine et quatre exemples d'outils. La quatrième partie présente la méthodologie et les critères d'évaluation puis la conduit. La cinquième partie discute et analyse les résultats de la partie précédente et présente des recommandations. Enfin, la conclusion revient sur l'ensemble du travail effectué.

1 LA NOTION DE RÉSILIENCE : ORIGINES ET UTILISATIONS

Jouissant ces dernières années d'une popularité grandissante, la résilience s'inscrit de plus en plus dans les discours actuels et semble concurrencer le concept de développement durable (Chevalier, 2019; McPhearson, 2014). Son utilisation par des acteurs non scientifiques pose néanmoins des problèmes de terminologie. De quoi parle-t-on quand on parle de résilience? Est-on sûr d'en partager la même signification? La souplesse du vocable pose en effet le risque d'une mésentente et d'un décalage entre des attentes diverses liées à des conceptions diverses de la résilience. Il nous est donc paru nécessaire d'interroger ce mot et ces évolutions de sens pour avoir une vision plus claire de ce dont on parle et pour avoir une fondation solide sur laquelle baser notre analyse. C'est l'objet de cette première partie.

Malgré son irruption récente dans le débat public, la résilience est loin d'être un vocable nouveau. Le mot lui-même a en effet une longue histoire puisqu'il est possible de la faire remonter étymologiquement jusqu'à l'antiquité romaine. Malgré cette longévité, le cœur de son sens est resté à peu près stable. On pourrait même dire résilient!

1.1 Petite étymologie

Résilience vient du latin *resiliens* participe présent du verbe *resilire* lui-même constitué du préfixe *re* qui signifie « en arrière » et du verbe *salire* qui signifie « sauter, bondir » (Gaffiot, 1934). Le verbe *resilire* lui-même a cependant plusieurs significations. Le premier sens est constitué directement des deux composants du verbe à savoir « rebondir » et « sauter en arrière » le plus souvent face à un obstacle physique (comme une balle qui rebondit) ou face à un danger. Le célèbre historien romain Tite-Live (59 av. J.-C, 17 ap. J.-C) l'utilise dans un contexte militaire pour décrire le repli d'une formation armée vers une position précédente (Gaffiot, 1934). Notons que cette utilisation porte déjà en elle le germe d'un des sens actuels de la résilience à savoir le retour à un état précédent (ici une position spatiale) face à une contrainte extérieure (ici une force adverse). Le terme a aussi été utilisé de manière moins littérale. Marcus Cicéron, écrivain, homme d'État et avocat célèbre du temps de la République romaine (106 av. J.-C, 43 av. J.-C) l'utilise dans une de ses plaidoiries pour décrire comment l'accusation rebondit loin de son client jusqu'à se retourner contre l'accusateur lui-même (Alexander, 2013; Gaffiot, 1934). Ici également, on voit que *resilire* n'est pas juste un saut arrière quelconque, mais un retour à une position précédente bien définie, à la source d'origine (ici l'accusation).

Un deuxième sens est celui de rejaillir ou sauter par-dessus, utilisé par le naturaliste Pline L'Ancien (23 apr J.C – 79 apr. J-C) pour décrire, entre autres, le bond des puces et des grenouilles (Alexander, 2013; Gaffiot, 1934). Comme tout le monde en a l'image, ces animaux ne sautent pas en arrière, mais en avant. Il y a

donc introduction de l'idée de progression. Ici, la contrainte ou l'obstacle s'il existe est dépassé ou franchi. Il ne s'agit donc plus d'un rebond avec retour en arrière, mais plutôt d'un rebond avec progression ou dépassement, d'un bond en avant. L'on perçoit ici, bien que de manière plus tenue, le fil conducteur qui mènera longtemps après à une variante de la définition de la résilience qui n'est plus seulement un retour à un avant, à un état d'équilibre antérieur après une perturbation, mais plutôt un saut vers l'avant, c'est-à-dire à un dépassement de la perturbation. Beaucoup de vocables dans le langage suivent ce processus de métaphorisation ou d'abstraction à partir d'un sens concret ou physique vers un sens plus riche et plus symbolique.

Un troisième sens utilisé par le poète Ovide (43 apr J.C – 17 apr. J-C) et qui semble moins positif est celui de se retirer sur soi-même, se replier, se réduire ou se raccourcir (Alexander, 2013; Gaffiot, 1934). Métaphoriquement cela peut se rapprocher d'une résilience négative. En effet, un état sous-optimal avec perte de fonctions peut s'avérer résilient.

Enfin, mentionnons un quatrième sens qui est celui d'annuler un accord ou une entente, de revenir sur une parole ou un engagement, un sens surtout utilisé dans un contexte juridique pour décrire le retour à un statu quo ante. Le terme est documenté dans le *Digesta Justiniani*, compilation de la jurisprudence romaine publiée sous Justinien en 533 apr. J.-C., son utilisation est cependant attestée dès le 1^{er} siècle. (Gaffiot, 1934) Ce sens s'est remarquablement maintenu tel quel au fil des siècles et on le retrouve aujourd'hui dans le terme de résiliation, résilier un accord ou un contrat.

1.2 Passage dans le domaine scientifique et premières définitions

Le terme latin a ensuite été adopté par le français du moyen âge puis est passé à l'anglais en perdant toutefois son sens premier et en ne gardant que son sens juridique (Alexander, 2013). Il a fallu attendre 1625 et Francis Bacon qui le premier, dans ses écrits scientifiques, a repris le sens originel de rebond et l'a utilisé pour caractériser et mesurer des concepts comme l'élasticité, l'écho et la réflexion respectivement en mécanique, acoustique et optique (Alexander, 2013; Bacon, 1627). Cette utilisation fixe déjà une certaine compréhension de la résilience comme une quantité mesurable et caractéristique d'un objet. La mesurabilité introduit la résilience dans le champ scientifique ce qui lui permettra ensuite d'être empruntée par d'autres disciplines et enrichie par leurs apports. C'est d'abord la mécanique qui s'en saisit et plus particulièrement la science des matériaux grâce notamment aux travaux de Thomas Young où elle devient synonyme de capacité de résistance d'un matériau à une force de compression, et ce jusqu'à son point de rupture (Young, 1807). L'utilisation de la résilience dans ce contexte va laisser sa marque. En effet, puisque chaque matériau possède sa résilience propre qui dépend de sa structure interne, il s'ensuit que

la résilience est une propriété donnée à priori et caractérise l'objet comme le ferait par exemple sa composition, densité ou autre quantité objectivement mesurable. La résilience ne peut donc être développée organiquement à moins de changer la nature ou la composition du matériau.

Les premiers travaux sur la psychologie de la résilience ont hérité de cette conception. Ils ont supposé que la résilience fait partie de la constitution de l'individu et qu'il y a donc des individus résilients par nature et d'autres moins. Dans ces conditions, il est difficile d'imaginer qu'on puisse développer de la résilience là où il n'y en a pas. Ce n'est que bien plus tard que cette vision a été contestée et qu'une approche systémique a été menée qui a permis de prendre en compte les facteurs environnementaux et sociaux qui favorisent ou défavorisent le développement de la résilience psychologique. (Manciaux, 2001)

Pour résumer, trois points principaux ressortent de la vision mécanique de la résilience :

- la résilience est une résistance à une contrainte extérieure,
- elle est une caractéristique intrinsèque de l'objet,
- elle s'exprime jusqu'à un point de rupture bien défini, connu et fixé à l'avance, car faisant partie de la nature de l'objet et de l'intensité de la contrainte exercée.

Cela est le reflet d'une conception statique et mécanique des événements, conception caractéristique de l'époque qui se concentre sur les objets et cherche à les caractériser pour les comprendre. L'avènement de la pensée systémique va changer ces conceptions et déplacer l'accent de l'étude des objets vers l'étude des relations que tissent ces objets entre eux. Pour l'heure cependant, la résilience est vue comme simple résistance et maintien de l'intégrité. Elle est à rapprocher de la stabilité et a posé les bases de ce qui est nommé résilience d'ingénierie.

1.3 Résilience d'ingénierie

C'est une approche qui privilégie la stabilité et le maintien autour d'un état d'équilibre unique connu à l'avance. Elle présuppose de connaître à l'avance les perturbations probables susceptibles d'arriver et de construire en les prenant en compte. Cette conception a été naturellement adoptée dans le domaine de l'ingénierie où la stabilité et la durabilité d'une structure ou d'un matériau sont importantes pour des raisons de sécurité. La résilience est alors considérée comme un concept complémentaire et englobant la sécurité. Elle est rapprochée de la robustesse et mise en opposition à la fragilité et elle garde les attributs de la résistance développés plus haut. Cependant, ces dernières années ont vu une évolution en vue d'intégrer un aspect plus dynamique et en vue de déplacer l'accent vers la performance et la continuité de la fonction assurée par le matériau ou la structure en condition adverses. C'est ainsi que la résilience

d'ingénierie est définie comme la « capacité intrinsèque d'ajuster son fonctionnement avant, pendant ou après des perturbations de manière à maintenir les opérations requises ». (Hollnagel, 2016)

L'accent nouvellement mis sur la fonction élargit la portée du concept de résilience. Celle-ci est néanmoins toujours considérée comme une « capacité intrinsèque » ce qui semble indiquer que c'est une quantité fixée à l'avance et qui ne peut être développée organiquement. De plus elle sert à « maintenir les opérations requises ». Il y a donc des fonctions prédéfinies à assurer et conséquemment la nécessité de garantir un point ou un domaine d'équilibre connu. (Hollnagel, 2016) Ceci n'est donc pas une résilience d'adaptation comme on pourra le trouver dans les écosystèmes, les comportements humains ou tout autre système dynamique complexe. Cette résilience d'ingénieur est néanmoins utile pour caractériser des constructions et elle aura donc naturellement sa place en milieu urbain. On peut se demander s'il est même possible d'adopter une conception plus souple de la résilience dans le cadre des ouvrages d'art puisqu'ils sont par nature faits pour durer et pour remplir, habituellement, une fonction unique. À cet égard, la construction biomimétique peut représenter une piste d'avenir (Carricart, 2020; Oguntona et Aigbavboa, 2017).

1.4 Résilience fonctionnelle

La première discipline à avoir mis l'accent principalement sur l'aspect fonctionnel a été la médecine, et ce dès le XIX^{ème} siècle. Il s'agissait d'abord de caractériser la résilience des poumons et des vaisseaux sanguins, résilience comprise comme élasticité (Carson, 1820).

Bien qu'initialement inspiré de l'élasticité des matériaux, la nouveauté importante est que cette résilience est considérée avant tout dans le cadre de la fonction de l'organe. En effet, la résilience-élasticité mesurée dans le cas des poumons est celle qui permet les mouvements de contraction et d'expansion et donc la respiration, ou dans le cas des vaisseaux sanguins, la résilience élastique permet le flux normal du sang. Carson mentionne explicitement que la connaissance de cette résilience n'est pertinente que dans le cadre du maintien de la vie. En effet, par l'intermédiaire de cette résilience, Carson recherche « the means by which nature had contrived to render it subservient to the purposes of life ». (Carson, 1820)

Ceci est l'un des premiers moments qui préfigurent le passage d'une résilience des objets à une résilience de leur fonction. Ce mouvement va se faire plus franchement en physiologie et en médecine qu'en ingénierie, car le corps humain, comme tout organisme vivant est le lieu d'innombrables processus biologiques quotidiens et irréversibles, il est en constant changement. Dans ces conditions, il est impossible de revenir à un supposé état initial comme pour un système physique ou en résilience d'ingénierie, mais

plutôt à un « état similaire ». Cette différence, minime à première vue est loin d'être anecdotique et préfigure certaines des conceptions modernes de la résilience. En effet, l'accent est désormais mis de façon principale sur la fonction de l'organe. Ce dernier peut subir des altérations et des changements, mais tant qu'il remplit correctement ses fonctions on parle de résilience. (Carson, 1820) La résilience se déplace donc de l'objet lui-même à la fonction que rend cet objet. Ceci permet de développer l'idée d'autorégulation du corps humain qui a donné naissance au concept d'homéostasie (Walter B. Cannon, 1926). Un concept fécond qui fait l'objet de recherches jusqu'à aujourd'hui (Davies, 2016) et qui traduit approximativement l'ensemble des actions-réactions au sein d'un organisme vivant permettant de le maintenir dans un état d'équilibre. Ces actions-réactions se font de manière continue et le système oscille constamment à l'intérieur de son domaine d'équilibre. (W.B. Cannon, 1932; Davies, 2016) Ceci est à mettre en contraste avec la résilience d'ingénierie où le système est censé subir des événements ponctuels et revenir à son état d'équilibre après coup. En plaçant l'accent davantage sur la fonction que sur la structure, la forme ou l'intégrité entière de l'organe ou du corps, la résilience vue sous cet angle autorise une dynamique et une souplesse nouvelles. Une manière de définir la résilience fonctionnelle est la capacité d'absorber des dommages plus ou moins importants tout en assurant un minimum de fonctions et de services attendus.

1.5 Un nouveau cadre

Services, fonctions, équilibre dynamique : les briques conceptuelles sont posées pour une réévaluation en profondeur du concept de résilience. Il manque cependant un cadre théorique donnant de la cohérence et de la consistance à toutes ces idées. La systémique, ou science des systèmes, donnera un cadre unificateur dans lequel penser ces phénomènes. Celle-ci prend le contrepied du réductionnisme issu de la tradition cartésienne. C'est une façon d'étudier les phénomènes de manière non isolée en les inscrivant dans un ensemble plus large et en prenant en compte les différentes interactions qui opèrent à l'intérieur de cet ensemble et qui constituent de cette façon un système. Bertalanffy en a présenté une synthèse en 1968 dans son ouvrage *General System Theory*. (Bertalanffy, 1968)

La systémique s'est cependant nourrie de plusieurs sources et notamment, mais pas seulement, de la cybernétique et de la théorie de l'information dont les précurseurs et principaux contributeurs sont respectivement Norbert Wiener (Wiener, 1948) et Claude Shannon (Shannon, 1948). Bien d'autres noms et idées ont enrichi ces deux disciplines, mais aussi passionnante que puisse être l'exploration de ces thèmes, elle s'inscrirait malheureusement au-delà du cadre de cet essai. Mentionnons simplement des concepts clés qu'elles ont introduits : la notion de boucle de rétroaction entraînant l'intensification ou

l'atténuation d'un processus donné ainsi que le flux d'information entre les composants d'un système. Un flux dont la quantité d'information transportée sert à caractériser la force d'une interaction et son délai de réalisation ce qui permet des réactions différées et introduit des temporalités différentes au sein d'un même système. Ces concepts vont mener au développement des idées d'émergence et d'(auto)régulation des systèmes complexes. Dès lors, comment la résilience s'inscrit-elle dans ces nouveaux cadres de pensée? La résilience écologique sera l'une des réponses.

1.6 Résilience écologique

Holling utilise ce nouveau paradigme pour caractériser la stabilité et la résilience des écosystèmes. Il s'intéresse aux interactions entre prédateurs et proies et à l'évolution des populations dans un écosystème donné. Il s'agit de trouver le point d'équilibre et les conditions de maintien de cet équilibre et donc de caractériser une forme de résilience. La grande nouveauté qu'enseignent ses modélisations mathématiques est la présence non pas d'un seul équilibre, mais de plusieurs. Dans ces conditions, la résilience ne peut plus être pensée comme un retour à l'équilibre initial après perturbation puisqu'il en existe plusieurs. (Holling, 1973) Il est donc possible de passer d'un équilibre à un autre et ceci en franchissant des seuils. La stabilité associée à la résilience d'ingénierie ou la simple conservation des fonctions n'est plus pertinente pour penser un écosystème qui oscille entre plusieurs équilibres. Nous sommes en présence d'un changement de paradigme, car s'il était d'usage de chercher les conditions de stabilité du système étudié dans le cadre des anciennes conceptions de la résilience, il est à présent nécessaire d'étudier les conditions de changement des états du système étudié. Dans ce cas, la résilience devient la quantité de perturbation que peut absorber un système avant de se réorganiser et de changer sa structure pour atteindre un nouvel état d'équilibre. (Holling, 1973)

Ce n'est donc plus la stabilité du système et de ses fonctions qui est considérée, mais sa persistance. Holling, dans son article de 1973, fait explicitement la distinction entre stabilité et résilience comme il est illustré dans cet extrait :

« It is useful to distinguish two kinds of behavior. One can be termed stability, which represents the ability of a system to return to an equilibrium state after a temporary disturbance; the more rapidly it returns and the less it fluctuates, the more stable it would be. But there is another property, termed resilience, that is a measure of the persistence of systems and of their ability to absorb change and disturbance and still maintain the same relationships between populations or state variables. »

Un changement sémantique complet est introduit par Holling. Ce qui était défini comme de la résilience est considéré par lui comme de la stabilité. De plus, il ajoute à propos d'un système soumis à des

changements : « *the constancy of its behavior becomes less important than the persistence of the relationships* ». La résilience dans ces termes semble beaucoup plus plastique et aller même au-delà de la résilience fonctionnelle, car si la constance du comportement du système et donc les fonctions ou services qui sont le produit de ce comportement deviennent moins importants, cela implique l'acceptation de la dégradation ou de l'inconstance des fonctions au bénéfice de la persistance du système. Cela s'apparente presque à la simple adaptation pour la survie et à la persévérance dans l'être. Pour cela, le système doit être flexible ce qui est rendu nécessaire par l'imprévisibilité des perturbations qui peuvent l'atteindre. La résilience de stabilité reste pertinente pour un système ne présentant qu'un seul point d'équilibre et soumis à des chocs relativement prévisibles. Ces chocs peuvent arriver plusieurs fois, mais en général de façon ponctuel à chaque fois. En revanche, la résilience écologique est rendue nécessaire par des perturbations continues, changeantes et imprévisibles. Dans ce cas l'adaptabilité, la flexibilité est préférée à la stabilité et la résilience serait alors la propriété de développer des capacités diverses pour répondre à des défis divers. L'instabilité pourrait même augmenter la résilience en forçant un système à développer des capacités adaptatives qui lui permette de fluctuer sans disparaître. Il est dans ce cas plus difficile de mesurer la résilience a priori, car elle ressemble plus à une propriété qualitative que quantitative et elle est constatée a posteriori et non a priori.

1.7 Résilience socioécologique

Les années 90 ont vu un intérêt grandissant pour les dynamiques sociales avec la popularisation des études sur le développement durable qui essaient de penser un développement humain et naturel harmonieux. L'interdisciplinarité inhérente à ces problématiques a poussé à élargir le champ de la résilience et à la penser en rapport avec les sociétés humaines. C'est ainsi qu'a été développé le concept de systèmes socioécologiques dans la tentative de penser les sociétés humaines et la nature de façon intégrée. (Berkes et al., 2000)

Cela a été rendu nécessaire, car il n'est pas possible de juste juxtaposer la résilience d'une société et la résilience d'un écosystème pour parler de résilience socioécologique. Une société est soumise à des problématiques sociales et économiques propres et elle peut présenter une grande résilience si elle considérée de ce seul point de vue, mais souvent cette résilience se fait au détriment de l'écosystème naturel qui l'environne et la maintient (Smit et Wandel, 2006). C'est donc un couple indissociable société-écosystèmes qu'il faut étudier. La modélisation générale de tels systèmes est complexe et fait toujours l'objet de recherche soutenue. C'est pour cela qu'il est plus fréquent de trouver des modélisations de cas particuliers de systèmes socioécologiques comme la résilience des communautés côtières (Beatley, 2014)

ou la résilience face à la vulnérabilité des systèmes agricoles (Fraser et al., 2005) que des modélisations plus générales. Néanmoins, un consensus semble émerger autour de ce que doit représenter la résilience socioécologique et celle-ci intègre certaines propriétés des résiliences discutées précédemment auxquelles elle ajoute la capacité d'apprentissage caractéristique des êtres humains. Ainsi, la résilience socioécologique possède trois composantes (S. Carpenter et al., 2001) :

- la quantité de perturbations qu'un système peut absorber en restant dans le même état ou domaine d'attraction, également désignée capacité tampon (*buffer capacity*)
- la mesure dans laquelle le système est capable d'auto-organisation (par opposition à une organisation qu'on lui force de l'extérieur), et
- la mesure dans laquelle le système est capable d'apprentissage et d'évolution adaptative.

Les deux premières propriétés se retrouvent dans la résilience écologique. En effet, la première est une sorte de généralisation de la capacité de retour à un état d'équilibre alors que la deuxième assure la continuité du système en cas de changement de conditions de fonctionnement. En revanche, la dernière propriété, celle de l'apprentissage introduit une sorte d'historicité qui n'existait pas auparavant. S'il y a apprentissage et évolution alors il y a mémoire. Une mémoire incarnée dans les fonctions et les comportements des organismes, systèmes et sociétés qui ont eu à s'adapter à des défis particuliers. Se pourrait-il alors qu'il y ait également une direction évolutive et si oui, est-il possible de l'influer ou est-elle autonome? (Il est frappant de noter que ces trois propriétés ensemble pourraient presque définir la vie, il ne manque que la reproduction) Ces questions se trouvent malheureusement au-delà du cadre de cet essai bien qu'il soit intéressant de se les poser et qu'elles en amènent d'autres. Par exemple si la dernière propriété de la résilience socioécologique semble neutre et objective, il n'empêche qu'elle a été développée dans un cadre incluant des sociétés humaines intéressées à leur propre perpétuation. Sa raison d'être in fine est donc de garantir le bien-être humain dans un cadre contraint. En quoi consiste ce bien être, voilà une question qui, au-delà des nécessités minimales de survie, ne pourra jamais se targuer d'objectivité ou de consensus or c'est le non-dit derrière tous les efforts de la résilience ou du développement durable. De la compréhension de ce que doit être ce bien être découleront des comportements et politiques différents ou des objectifs de résilience différents.

Quoiqu'il en soit, cette vision de la résilience se rencontre dans un nombre croissant de définitions adoptées par des organisations internationales, des ONG ou dans d'autres domaines des sciences sociales. Il reste néanmoins une grande diversité de définitions. Certaines incluent l'adaptabilité et le changement,

d'autres préfèrent la stabilité et traitent l'aspect transformatif à part, certaines considèrent que c'est une capacité à développer là où d'autres pensent que ça s'apparente plus à une propriété, etc.

1.8 Bref bilan

Récapitulons brièvement les principales définitions proposées dans ce chapitre, leurs caractéristiques et leurs différences dans le tableau 1.1 ci-dessous :

Tableau 1.1 Trois conceptions de la résilience (Inspiré de Folke et Folke, 2006)

Concept de résilience	Contexte	Caractéristiques	Résultats
Ingénierie	Existence d'un état unique d'équilibre stable	Stabilité et retour à l'état d'équilibre	Efficacité, sécurité
Fonctionnelle	Existence d'un intervalle de stabilité plus ou moins large	Fluctuations constantes à l'intérieur d'un domaine de stabilité	Sauvegarde des fonctions
Écologique	Équilibres multiples, domaines d'attraction	Absorption des chocs, changements d'état, seuils	Persistance du système
Socioécologique	Influences croisées multiéchelles société/écosystèmes	Absorption, réorganisation et développement évolutif	Adaptation, apprentissage, transformation

Ce chapitre a été l'occasion de broser à grands traits les conceptions les plus générales de la résilience. Celles-ci présentent chacune des subtilités particulières propres à leurs auteurs et leurs disciplines d'origine. Nous ne les avons pas toutes présentées, car ce n'est pas l'objet principal de l'essai et ça n'aurait pas sa pertinence. Néanmoins les concepts qui ont été discutés dans ce chapitre couvrent l'essentiel de ce qui est généralement admis, le reste est principalement une variation autour de ces thèmes centraux. Comme nous l'avons vu, des différences existent qui peuvent être résumées entre d'une part la portée du concept et d'autre part la nature du concept. Sa portée varie allant du plus étroit comme le retour à l'équilibre, au statu quo ante, au plus large comme le changement et l'adaptation vers des équilibres plus optimaux. La nature du concept varie également allant d'une propriété intrinsèque à une capacité à développer puis à un processus continu.

Ces différentes conceptions se retrouvent-elles simultanément quand il s'agit de traiter de la résilience urbaine? Quelles sont les influences ou conséquences pratiques de l'adoption de l'une ou l'autre conception? Les différents acteurs de la résilience urbaine parlent-ils de la même résilience? Sinon,

comment accorder les conceptions et donc les outils et buts qu'on se donne quand il s'agit de rendre les villes plus résilientes? C'est ce genre de questionnement qui va faire l'objet du deuxième chapitre.

2 LA RÉSILIENCE URBAINE

Il est apparu à la suite de la discussion entamée dans la première partie de cet essai que la résilience est un concept en évolution constante. Une évolution dans le temps ainsi qu'une évolution à travers les disciplines par emprunts successifs. Ces emprunts n'ont pas empêché la persistance d'un noyau de sens commun : absorption et maintien de l'état général. Cette plasticité conjuguée à une représentation commune partagée par le plus grand nombre explique le succès du terme et son adoption au-delà du cercle purement scientifique. Il en est résulté une diversité de sens et une popularisation du concept. Il n'est donc pas étonnant de le retrouver également dans le contexte des problématiques urbaines, vu les défis auxquels sont confrontées les villes. La résilience urbaine hérite naturellement de la plasticité et de la diversité de sens véhiculé par le concept de résilience. Plusieurs auteurs ont constaté l'absence d'une définition consensuelle unique et le frein que cela peut engendrer pour son opérationnalisation et pour la création d'outils de mesures adéquats (Meerow et al., 2016; Ribeiro et Pena Jardim Gonçalves, 2019). Cette diversité de sens et de définitions, non exempte cependant de vertus, car cela autorise la créativité et la prise en compte de particularismes, n'est pas le seul défi auquel est confrontée la résilience urbaine. Le lien entre théorie et pratique n'est pas toujours bien établi et l'écart entre les discours et les actes reste important (J. Coaffee et al., 2018). Conséquemment, des efforts sont fournis pour réduire ce hiatus et proposer des cadres et des outils standardisés pour réaliser la résilience (The Rockefeller Foundation, 2015; The World Bank, 2019). Ces efforts sont récents et n'annulent pas les obstacles qui existent. Ces obstacles peuvent cependant être mis sur le compte de la relative jeunesse des débats autour de la question de la résilience urbaine. Davantage de temps et de recherches seraient alors nécessaires pour les aplanir. (Shamsuddin, 2020)

2.1 Les défis conceptuels

La simple expression de résilience urbaine n'est en soi pas exempte de difficultés théoriques. Il n'est en effet pas évident que le concept de résilience, développé principalement en écologie et en science des matériaux, soit aisément transposable à la question urbaine. Au-delà de cette première difficulté et une fois acceptée l'expression, la résilience urbaine pose un double défi : de quelle résilience parle-t-on et de quelle urbanité? S'agit-il d'une résilience d'ingénierie, d'une résilience inspirée des écosystèmes, ou encore d'une autre variante propre au domaine urbain? Qu'en est-il de l'urbanité? Est-elle bien définie dans cette expression et y a-t-il un cadre théorique correspondant?

Un grand nombre d'études ont été publiées traitant du thème de la résilience urbaine et des villes résilientes où ces deux expressions semblent être utilisées de façon équivalente (Meerow et al., 2016). Or

les villes ne soient qu'une modalité parmi d'autres, certes la plus visible et la plus importante, du phénomène d'urbanisation. En effet, un certain nombre d'études se concentrent davantage sur les communautés urbaines considérées comme un sous-système de la ville et l'unité de base pour l'étude de la résilience et des propriétés qui la caractérisent que sur la ville elle-même (Wang et al., 2018).

Nous avons vu en partie 1 que la résilience trouve son expression la plus riche principalement dans un cadre de systèmes dynamiques caractérisé par le changement, l'évolution et la présence d'équilibres multiples. Si l'on veut appliquer cette conception de la résilience à la ville, il faut se demander en quoi celle-ci fait système et quelle sorte de système la représente le mieux.

2.1.1 La ville, un système complexe

Considérer les villes comme un système n'est pas une nouveauté en soi. En effet dès 1915 et bien que n'étant pas lui-même spécialiste en urbanisme, Patrick Geddes dans *Cities in evolution* développe un point de vue global de la ville et tente une synthèse des différents aspects physiques, économiques et sociaux à l'œuvre dans la trame urbaine. Il préconise de changer la pratique de la planification urbaine de l'époque pour tenir compte de cet entrelacement complexe et propose la métaphore de la ville comme un organisme vivant en évolution influencé en cela par sa formation de biologiste et par sa pratique de la théorie de l'évolution de Darwin. (Batty et Marshall, 2009; Chabard, 2012; Geddes, 1915)

Les frères Odum, célèbres pour leurs travaux en écologie, ont montré les similitudes de structure qui peuvent exister entre les écosystèmes naturels et les systèmes sociaux dont les villes ainsi que l'importance des flux d'énergie dans leur maintien et leur développement, inférant que la ville peut être considérée comme un écosystème d'un type particulier (Grönlund et al., 2016; Odum, 1975) ou encore comme un organisme biologique (Odum et Odum, 1959). Jane Jacobs, à travers sa critique de la planification urbaine aux États-Unis des années 1950, milite pour la reconnaissance de la ville comme une entité dotée de « complexité organisée » (Jacobs, 1961).

On le voit, l'idée que les villes sont plus que l'ensemble des bâtiments, infrastructures et habitants qui les composent et représentent un système dynamique complexe avec ses propres lois n'est donc pas nouvelle et est un point de vue assez partagé. Ces idées sont longtemps restées sur le plan de la métaphore et ce n'est que récemment que des efforts sont déployés pour comprendre quantitativement les dynamiques à l'œuvre dans une ville et pour les traduire sous forme de lois mathématiques. Des recherches pointues se développent dans ce domaine avec l'utilisation d'outils sophistiqués pour leur modélisation comme les automates cellulaires, les modèles multiagents, la dynamique stochastique ou les fractales (Batty, 2005). Des lois générales commencent à être établies mettant en relation la taille de la ville avec des grandeurs

aussi diverses que la densité de l'infrastructure, la création de connaissances et de richesses, l'intensité de la vie sociale, le taux de criminalité et de pollution et même la vitesse moyenne de marche de ses habitants. Ces lois semblent relativement indépendantes des époques et des cultures. Elles rappellent les lois à l'œuvre en biologie ou en écologie. Ces lois sont fonction de la taille de la ville et s'expriment comme des lois de puissances sous la forme $Y(N) \approx Y_0 N^\beta$ où N est la taille de la ville (sa population), Y la variable étudiée (dépendante de N) et Y_0 une base de référence commune à toutes les villes (Keuschnigg, 2019). Ce qui est remarquable, c'est que cette loi a la même forme que celles reliant la taille d'un organisme vivant à son métabolisme (et qu'on peut relier à d'autres grandeurs comme sa longévité par exemple). La différence réside dans la valeur de l'exposant β (Bettencourt et al., 2007). Dans le cas des organismes vivants, cet exposant est inférieur à 1 (il vaut 0,75). La relation entre la masse et le métabolisme est donc sublinéaire et cela reflète une tendance de la nature à l'économie d'énergie, à l'optimisation et à l'efficacité (ce qui implique que rapporté à sa masse, un éléphant consomme moins d'énergie qu'une souris... cette tendance aux « économies d'échelle » est une constatation générale dans le règne animal). S'agissant des villes cependant, l'exposant β prend des valeurs inférieures, égales ou supérieures à 1 selon la caractéristique étudiée. La relation est par exemple sublinéaire en ce qui concerne la quantité d'infrastructures et, comme pour les organismes biologiques, la consommation d'énergie (avec des exceptions). D'un autre côté, la relation est superlinéaire en ce qui concerne par exemple la création de richesse et l'innovation, mais malheureusement aussi le coût de la vie, la criminalité, et la pollution entre autres caractéristiques négatives. (Bettencourt, 2013; Bettencourt et al., 2007)

Sans aller plus loin dans les détails, le paragraphe précédent veut surtout montrer la pertinence, mais aussi la limite de l'approche des villes comme écosystèmes ou organismes vivants complexes. En effet, les lois superlinéaires se rencontrent rarement dans la nature à moins d'un mécanisme régulateur qui les maintient dans certaines limites. Sinon, livrée à elle-même une loi superlinéaire conduit in fine à un emballement vers l'infini et donc forcément à un effondrement et à la disparition de l'écosystème ou de l'organisme qui la subit d'où la présence dans la nature de boucles de rétroactions négatives produisant des points d'équilibre. Ce sont justement la présence de ces équilibres multiples qui autorisent à parler de résilience en tout cas dans son acception écosystémique. Or la présence dans les villes de boucles de rétroaction négative à l'image des écosystèmes n'est pas forcément évidente et cela peut poser une difficulté pour l'application de la résilience écosystémique aux villes.

2.1.2 La ville, un système socioécologique

Les villes sont donc des systèmes complexes sujets à des lois non encore complètement comprises, des lois qui les rapprochent, mais aussi qui les singularisent des systèmes écologiques classiques ou des organismes biologiques auxquels elles ont été souvent comparées. Ceci pose le problème de l'applicabilité de la résilience, concept essentiellement issu de l'écologie et adapté à l'étude des écosystèmes, à la ville qui est un objet certes complexe, mais qui ne partage qu'une partie de ses attributs et de son comportement avec les écosystèmes naturels. On peut donc légitimement se demander dans quelle mesure un tel paradigme de la résilience peut s'appliquer proprement aux systèmes urbains. Dans ce contexte encore non résolu, le cadre d'analyse commun qui émerge est celui de la ville comme système socioécologique intégré. Un cadre qui hérite de certaines des caractéristiques des systèmes écologiques et en ajoute d'autres, plus abstraites comme la culture, la circulation des idées et des constructions symboliques ou plus concrètes comme la transformation du paysage par l'urbanisation, l'industrialisation et l'agriculture (Du Plessis, 2008; Frank et al., 2017). Parler de résilience urbaine reviendrait donc à parler de la résilience socioécologique d'un système particulier.

Toutefois, le fait de caractériser la ville comme système socioécologique n'aplanit pas forcément la difficulté. En effet ces systèmes ne sont pas tout à fait bien compris ni bien définis et nous pouvons citer à cet égard Du Plessis qui, tout en argumentant en faveur de la ville comme système socioécologique reconnaît pourtant le flou conceptuel derrière cette appellation et les progrès encore à réaliser dans leur compréhension :

"The exact nature of social-ecological systems (SESs), or what it is that differentiate SESs from other types of ecological systems, is still open to debate. The Resilience Alliance (2006) describes SESs as "complex, integrated systems in which humans are part of nature." However, while there are numerous methodologies and conceptual frameworks for studying aspects of social-ecological systems, the understanding of how the social and ecological components are to be integrated into one system is still evolving" (Du Plessis, 2008)

Bien que des progrès aient été réalisés depuis 2008 et l'article de Du Plessis, les mêmes difficultés demeurent. Les études sur les systèmes socioécologiques se sont multipliées et avec elles les méthodologies et les cadres d'études particuliers à chaque situation, mais avec une tendance à la spécialisation. Force est de constater qu'une vision d'ensemble unifiée sur l'intégration des composantes sociales et écologiques est toujours manquante. (de Vos et al., 2019) D'un autre côté, cette multiplicité de cadres permet de s'adapter aux particularismes de chaque ville qui ont chacune leurs propres spécificités.

Le cadre socioécologique pour l'étude de la résilience urbaine semble largement partagé (Frank et al., 2017). Mentionnons toutefois une dernière mise en garde. Certains chercheurs alertent sur l'utilisation du concept de résilience hors du champ balisé de l'écologie. Les processus et comportements en œuvre dans les systèmes sociaux seraient trop différents par rapport à ceux rencontrés dans les systèmes écologiques. La résilience ne serait donc pas le bon concept à appliquer. (Lizarralde et al., 2017) Ce défi n'empêche pas que le cadre socioécologique soit actuellement un cadre consensuel pour penser la résilience des communautés humaines dans leur environnement (Folke et al., 2016).

Cette première sous partie nous a permis de constater que, contrairement à de faciles apparences que laisserait penser un traitement ou une approche superficielle et directe de la résilience urbaine, celle-ci ne se laisse pas appréhender aussi facilement et sa conceptualisation se heurte à une série de difficultés théoriques assez grandes. Il est bon de garder cela à l'esprit pour relativiser la portée des résultats qu'on peut rencontrer par la suite.

Cela dit, ces limitations étaient prévisibles vu le large champ que recouvre la résilience elle-même. Il est donc naturel que, appliqué aux villes dont la compréhension est encore à parfaire, le concept puisse se dérober à nos efforts. Cela n'empêche pas les recherches à caractère plus pratique de se multiplier pour caractériser cette résilience.

2.2 Conceptions, définitions et caractéristiques principales de la résilience urbaine

Comme il ressort de la discussion précédente et eu égard à l'absence d'un cadre théorique clair et rigoureux, la résilience urbaine est potentiellement sujette à de multiples interprétations et cela se vérifie aussi bien dans la littérature que dans les conceptions que s'en font les praticiens (Chelleri et Baravikova, 2021; Meerow et al., 2016).

Ajoutons à cela que les discussions sur la résilience urbaine ne se limitent pas au seul cadre de la ville considérée comme un système socioécologique où la résilience serait traitée d'un point de vue global. Elle est également, et de plus en plus, appliquée pour traiter de problématiques particulières comme la gestion des risques naturels ou industriels, l'adaptation aux changements climatiques ou la résilience économique et sociale entre autres. Cela induit forcément des nuances d'approche selon la problématique traitée. (Meerow et al., 2016) Cette diversité d'approche est évaluée différemment selon les auteurs. Certains considèrent que c'est une force, en cela qu'elle rend le concept plus susceptible de produire de la nouveauté (Walsh-Dilley et Wolford, 2015). D'autres alertent sur le danger d'une confusion qui s'installerait sur les principes, buts et méthodes et qui ensuite s'exprimerait dans des politiques inefficaces

ou injustes socialement. Ils alertent également sur une certaine approche de la résilience, surtout dans les pays anglo-saxons, dans laquelle l'accent est préférentiellement mis sur la responsabilité et l'adaptabilité individuelles. Cette approche peut servir à renforcer une politique et une pensée d'inspiration néolibérale en faveur du recul de l'état et des services publics, de la dérégulation sous couverture de « flexibilité » et du règne du marché et des acteurs privés. (Joseph, 2013; Mackinnon et Derickson, 2013)

Dans leur article de 2016, Meerow et ses collègues ont compilé une liste de 25 définitions de la résilience urbaine issues de domaines aussi variés que les sciences environnementales, les sciences sociales, l'ingénierie et d'autres encore (annexe 1). Chacune de ces définitions met l'accent sur l'un ou l'autre des aspects de la résilience comme la récupération, l'adaptation, le maintien des fonctions, etc. Nous allons passer en revue les principales oppositions et différences rencontrées dans ces définitions. Ce passage permettra de voir où se situent ces différences et en quoi elles consistent ce qui nous renseignera sur les diverses approches possibles de la résilience urbaine.

Résilience de conservation et résilience de transformation

L'opposition la plus générale et la plus rencontrée consiste dans la dichotomie entre le fait de revenir à l'état précédent par opposition au fait de passer à un état meilleur, ce qui est mieux exprimé par l'expression anglaise « *bouncing back* vs *bouncing forward* ». (Chelleri et Baravikova, 2021)

La première est à rapprocher de la résilience d'ingénieure où l'on souhaite revenir à l'état d'origine et le conserver, cela suppose donc une capacité d'absorption des chocs couplée à de la stabilité et à de la robustesse. Cette vision se rencontre plus souvent dans la résilience aux catastrophes naturelles ou industrielles et en gestion des risques. Elle emprunte également à la résilience fonctionnelle étant donné l'importance d'assurer le fonctionnement de certaines infrastructures critiques. La deuxième vision tend plutôt vers la transformation et l'amélioration en prend acte d'une réalité changeante et imprévisible en privilégiant la souplesse et l'adaptabilité. Il est intéressant de noter ici une différence entre l'Europe et les États-Unis. Alors qu'en Europe la vision évolutive est majoritairement mise en avant, l'inverse est vrai aux États-Unis (Chelleri et Baravikova, 2021). Cette différence de conception provient du fait qu'en Europe, la résilience a été essentiellement pensée dans le cadre de l'adaptation aux changements climatiques et de la planification urbaine à long terme, deux thèmes habituellement intégrés dans le paradigme plus large du développement durable (Chelleri et Baravikova, 2021; Jon Coaffee, 2013). Ceci encourage une vision évolutive et adaptative. Aux États-Unis par contre, la résilience a principalement été développée dans le cadre de la réduction du risque de désastre (Chelleri et Baravikova, 2021) d'où une propension plus grande à considérer l'aspect « *bouncing back* » de la résilience y compris par rapport à la problématique des

changements climatiques (Meerow et Stults, 2016). Du fait des catastrophes naturelles récurrentes (cyclones et inondations principalement) qui touchent ces régions à une fréquence plus grande qu'en Europe, l'accent est naturellement mis sur la robustesse des infrastructures, la sauvegarde des fonctions et, le cas échéant, une rapide reconstruction d'où la prévalence d'une résilience d'ingénieur ou d'une résilience fonctionnelle. (Chelleri et Baravikova, 2021)

Cela dit, à l'échelle globale la résilience évolutive gagne de plus en plus d'adeptes. La tendance, constatée aussi bien chez les professionnels que chez les chercheurs, est d'envisager la résilience urbaine comme une résilience évolutive par défaut considérée comme la résilience idéale à atteindre (Chelleri et Baravikova, 2021; Meerow et al., 2016). Cependant cette tendance reste pour l'instant principalement cantonnée à un niveau théorique. Elle peine à se traduire concrètement, car la plupart des outils et cadres existants restent inspirés par une vision d'ingénieur centrée sur la résistance et la récupération post-événement. Une vision avec laquelle les institutions en place, par définition des organisations stables et cherchant la stabilité, sont plus confortables (Tanner et al., 2017). Les outils existants ou la lenteur des institutions ne sont cependant pas les seules limitations à l'opérationnalisation de la résilience évolutive. En effet, les professionnels eux-mêmes ont tendance à mettre en avant comme caractéristiques les plus importantes de la résilience des concepts issus de la résilience d'ingénieur tels que la résistance et la récupération par opposition à des concepts tels que la transformation et l'évolution, et ce même quand ils privilégient une vision dynamique de la résilience. Cela peut s'expliquer par la difficulté à déterminer les caractéristiques essentielles qui rendent possible une résilience de type évolutif ainsi que par la difficulté inhérente à prévoir les défis futurs et les multiples chemins évolutifs potentiels à emprunter pour y être résilient. Le consensus qui émerge cependant est de considérer les deux versants comme nécessaires étant donné qu'ils répondent à des défis différents en nature et sur l'échelle spatio-temporelle. (Chelleri et Baravikova, 2021).

Résilience spécifique et résilience générale

La dichotomie précédente nous renvoie à une autre dichotomie constatée dans la littérature, à savoir la résilience spécifique par rapport à la résilience générale. Les deux dichotomies se recouvrent en grande partie. En effet, la résilience spécifique concerne la résilience face à un choc précis généralement bien identifié en amont (inondation, tempête, rupture d'approvisionnement...) et dont les effets se portent sur une infrastructure, service, communauté ou région particulière elles aussi identifiées et dont on veut diminuer la vulnérabilité. Ce type de situation dont on maîtrise les paramètres se prête naturellement à une planification de type technique ou ingénieur. Le but est alors d'assurer la continuité de services jugés

importants comme le réseau énergétique, les réseaux de télécommunications ou les services de base (distribution d'eau et de nourriture, fonctionnement des hôpitaux, etc). Du fait de leur importance, ces services doivent avant tout être robustes, capables d'absorber les chocs, fonctionner en conditions adverses et revenir rapidement à un fonctionnement normal d'où une approche basée sur la résilience d'ingénieur et la résilience fonctionnelle. Les solutions privilégiées sont des solutions techniques et, dans une moindre mesure, organisationnelles. (Heinzlef et Serre, 2020) Cependant, il apparaît qu'un accent trop important sur la résilience spécifique peut conduire à une moindre résilience générale. La résilience spécifique peut en effet mener à une spécialisation excessive face à des perturbations connues au détriment de l'agilité et de l'adaptabilité nécessaire face à l'imprévu. (Walker et al., 2006) Un tel constat est potentiellement lourd de conséquences, y compris pratiques. En effet, il devient dès lors important de savoir où mettre la frontière entre se rendre résilient à des dangers spécifiques et rester ouvert à l'imprévu incarné par la résilience générale. Consacrer une partie de l'effort de recherche dans ce sens est donc crucial.

Par contraste, la résilience générale concerne la capacité à s'adapter à des événements non prévus et qui peuvent toucher a priori n'importe quelle partie du système. Dans ce cas, l'approche holistique est privilégiée. Les aspects sociaux et organisationnels sont mieux intégrés, les relations d'interdépendance sont explicitées et la recherche de souplesse et d'adaptation est préférée à la robustesse et la résistance. La résilience générale est plus lente à se mettre en place, car elle repose sur l'apprentissage et la prise en compte de rétroactions à partir desquels se mettent progressivement en place une organisation et des pratiques capables de mieux composer avec les conditions adverses. Le chemin pour y parvenir n'est pas tracé d'avance et il est donc difficile de formuler des politiques d'action. Neuf principes ont cependant été identifiés comme au cœur de la résilience générale : la diversité, la modularité, l'ouverture, les réserves, le feedback, le multiéchelle, le monitoring, le leadership et la confiance. (S. R. Carpenter et al., 2012) Le tableau 2.1 reprend les différences principales entre les deux formes de résilience.

Tableau 2.1 Résilience spécifique et résilience générale

Résilience spécifique	Résilience générale
Risques identifiés et quantifiés	Risques imprévus et non quantifiés
Se concentre sur des objets, communautés ou zones géographiques spécifiques. Privilégie les composants du système un à un.	Adopte un point de vue global et systémique. Privilégie les relations entre les composants du système plutôt que les composants eux-mêmes.
Développe préférentiellement les qualités de robustesse et de résistance	Développe préférentiellement les qualités de souplesse et d'adaptation

Autres tensions

Outre les oppositions discutées plus haut, un certain nombre de tensions non résolues traversent les différentes définitions de la résilience urbaine. Celles-ci sont au nombre de six : la caractérisation de l'élément urbain, la notion d'équilibre, la désirabilité, la notion d'adaptation, le chemin vers la résilience et enfin l'échelle de temps de l'action. (Meerow et al., 2016)

Urbanité

La caractérisation ou la définition de ce qu'est un système urbain est le plus souvent traitée de façon vague. Nous avons déjà pointé les difficultés de ce sujet dans la première sous partie. Précisons que certaines publications définissent les villes comme des systèmes complexes là où d'autres les définissent principalement comme des réseaux ou encore des métaréseaux. Remarquons simplement à ce stade l'existence de plusieurs terminologies concurrentes sans qu'il soit clair si des différences significatives de sens existent. Notons également l'expression de réseaux sociotechniques qui met l'accent davantage sur l'aspect technologique que ne le fait l'expression de système socioécologique rencontrée par ailleurs (Romero-Lankao et Gnat, 2013). Il s'ensuit des tentatives de définir les villes comme des métasystèmes de réseaux sociotechniques et socioécologiques imbriqués. (Chester et al., 2015).

Équilibre

Concernant la notion d'équilibre, la division classique se fait entre la présence d'un équilibre unique et la présence d'équilibres multiples. Comme indiqué plus haut, l'équilibre unique renvoie à une approche d'ingénieur tandis que les équilibres multiples se rencontrent plutôt dans une vision écologique ou écosystémique à la Holling. Une tendance récente explore une autre direction et travaille à considérer la résilience dans des systèmes hors équilibre. (Meerow et al., 2016)

Désirabilité

Il peut paraître curieux de s'interroger sur la désirabilité de la résilience et de se demander si c'est un trait désirable ou pas. Effectivement, toutes les définitions présupposent, sans forcément l'explicitier, que c'est une qualité à développer (Meerow et al., 2016). Cependant, des critiques sont faites par exemple à l'endroit de la résilience d'équilibre unique où le retour à l'état précédent est recherché. Souvent, il s'agit d'un retour à un état qui n'est pas forcément le plus optimal ou le plus désirable et cela peut conduire à favoriser le statu quo. Un état sous optimal peut s'avérer résilient ce qui est problématique. (Wu et Wu, 2013) Les critiques portent également sur la problématique de l'inégalité de pouvoir entre les différentes

parties prenantes concernées par les politiques de résilience, ce qui peut mener, quand cela n'est pas pris en compte, à exacerber des inégalités sociales déjà existantes. Ce volet social est en général encore peu exploré dans la littérature. (Cote et Nightingale, 2012; Meerow et al., 2016)

Adaptation

Ici, l'opposition se place entre adaptabilité et adaptation. L'adaptabilité est la capacité de s'adapter à toute sorte de situations sans qu'il soit nécessaire de s'y préparer. Bien que désirable, la façon d'y parvenir n'est pas claire. Tout au plus met-on en avant des caractéristiques attendues ou qu'on pense telles d'un système adaptable à savoir la flexibilité et la diversité entre autres. Par contraste, l'adaptation est mieux comprise, car elle se fait souvent dans des contextes spécifiques. Elle est donc mise en avant lorsque le danger est prévisible. Cependant, la plupart des définitions privilégient l'adaptabilité et certains auteurs mettent en garde contre un excès d'adaptation qui conduirait à une sorte de spécialisation délétère pour la résilience générale. (Meerow et al., 2016; Pike et al., 2010)

Chemins vers la résilience

En ce qui concerne le chemin emprunté pour parvenir à la résilience, celui-ci dépendra du type de résilience recherché. Une résilience évolutive privilégiera tout ce qui concourt à la transformation tandis qu'une résilience d'ingénieur privilégiera des outils qui encouragent la persistance d'un certain équilibre. Entre ces deux chemins apparaît un troisième, celui de transition. Ce dernier se place entre les deux et privilégie une adaptation incrémentale comme moyen de réaliser pas à pas la résilience évolutive. Malgré l'évolution des mentalités vers la résilience évolutive, environ la moitié des définitions rencontrées continuent de se concentrer sur la persistance sans prévoir de mécanisme de changement alors que l'autre moitié préconise un mix des trois. (Meerow et al., 2016)

Échelle de temps

L'échelle de temps ne fait pas toujours partie des premières préoccupations alors que le temps nécessaire à un système pour revenir à son état d'équilibre ou pour se réorganiser est une des caractéristiques de la résilience. Plus ce temps de récupération est court et plus le système est résilient. Cette préoccupation est bien présente dans une certaine conception de la résilience des écosystèmes. (Pimm, 1984) Concernant la résilience urbaine, elle est en majeure partie mentionnée lorsqu'il s'agit de résilience face aux catastrophes naturelles et pratiquement non mentionnée dans les autres cas. Pourtant, même dans le cas des catastrophes naturelles où l'importance d'un rebond rapide est bien spécifiée, l'échelle de temps pertinente n'est souvent pas précisée ni les moyens possibles pour la déterminer. La question du temps,

bien que souligné comme importante, reste donc vague quand elle n'est pas mentionnée du tout. (Meerow et al., 2016)

Vers une définition unique

Constatant qu'aucune des définitions examinées ne mentionne de façon explicite l'ensemble des points soulevés plus haut, Meerow et al.(2016) se sont essayés à exprimer dans une formulation unique et cohérente une définition de la résilience urbaine qui les regrouperait tous:

«Urban resilience refers to the ability of an urban system and all its constituent socio-ecological and socio-technical networks across temporal and spatial scales to maintain or rapidly return to desired functions in the face of a disturbance, to adapt to change, and to quickly transform systems that limit current or future adaptive capacity. » (Meerow et al., 2016)

Cette définition a le mérite d'intégrer dans une formulation compacte un grand nombre de concepts et de mettre ensemble toutes les particularités discutées précédemment. Elle assume que le système urbain est composé de réseaux de natures différentes et opérant à de multiples échelles de temps et d'espace. Elle préconise la persistance et le retour rapide aux fonctions voulues puis l'adaptation et la transformation vers l'adaptabilité. Capitalisant sur les résultats de Meerow et de ses collègues ainsi que sur une synthèse des différentes conceptions de la résilience urbaine, quatre principaux piliers de cette dernière ont été dégagés : la résistance, la récupération, l'adaptation et la transformation (Ribeiro et Pena Jardim Gonçalves, 2019). L'adoption d'une telle définition par les institutions responsables de promouvoir ou d'appliquer la résilience conduira à déployer les efforts sur ces quatre piliers et à prendre en compte les différentes échelles de temps et d'espace impliquées.

3 LES OUTILS ET INDICATEURS DE LA RÉSILIENCE URBAINE

Les difficultés de conceptualisation de la résilience urbaine n'ont pas empêché les recherches consacrées au développement d'indices et d'indicateurs. Celles-ci sont restées limitées et fragmentées durant la décennie 2000 (Sharifi, 2020). Cependant un effort de plus en plus important a été mené et a conduit à l'éclosion d'un nombre croissant d'outils de mesures et de diagnostic ainsi que de cadres d'évaluation (C. Brown et al., 2016). Cette croissance a été concomitante avec le passage progressif du paradigme de la résilience centré sur la robustesse à un paradigme centré de plus en plus sur l'adaptabilité (Sharifi, 2020). Les outils se sont alors multipliés en restant toutefois largement concentrés sur les deux thèmes de la résilience aux changements climatiques et de la résilience aux catastrophes naturelles principalement aux inondations (Sharifi, 2020).

3.1 De la nécessité des indicateurs et de ce qu'ils mesurent

Le développement d'outils de mesures est une étape importante dans les efforts menés en vue d'opérationnaliser le concept de résilience urbaine. Après tout, cette dernière est née d'un besoin social. Le besoin de comprendre et d'évaluer les défis qui se présentent aux villes et les moyens d'y faire face. Ceci afin de garantir un cadre de vie minimum face aux aléas qui ne s'écroule pas à la moindre difficulté. Or il est difficile de comprendre une situation et plus encore de l'améliorer sans données quantifiées, sans repères chiffrés desquelles nos sociétés du calcul sont friandes. Il n'est donc pas étonnant que face à ce besoin se soit développée une offre de plus en plus étendue d'indicateurs et que ceux-ci se concentrent principalement sur la grande préoccupation contemporaine, celle du changement climatique.

3.1.1 Définition et fonctions élémentaires

Un indicateur est une caractéristique spécifique, observable et mesurable, il doit être clairement défini et rendre une image aussi fidèle que possible de la caractéristique mesurée (UN, 2010). Plus simplement, un indicateur est une valeur ou un groupe de valeur donnant une indication ou une direction. Il peut être constitué d'une seule variable qui est alors la simple donnée mesurée directement ou de plusieurs variables chacune représentant une donnée et regroupées dans une formule mathématique calculant l'indicateur. Selon la complexité de ce qu'on veut mesurer, plusieurs indicateurs peuvent s'avérer nécessaires au lieu d'un seul. Ces indicateurs peuvent alors se voir assigner chacun un poids différent correspondant à leur importance relative pour ensuite être agrégés dans un indice unique. L'agrégation est utile pour comparer facilement des communautés ou des villes à l'aide d'un score ou pour communiquer de l'information au public de façon simple. Elle masque cependant les détails et la

complexité sous-jacente, les professionnels préférant alors l'accès à la version désagrégée. (Cutter et al., 2010a; Jarvie, 2015)

Les indicateurs ont des fonctions diverses. Ils peuvent servir à identifier les points forts et les points faibles d'une ville et identifier ainsi des opportunités puis définir des priorités pour diriger l'action là où elle est le plus nécessaire, ce sont alors des outils de diagnostic (Jarvie, 2015). Ils peuvent également servir à mesurer les progrès accomplis depuis un point de référence et comparer les performances d'une communauté à l'autre, ce sont alors des outils de performance (Cutter et al., 2010a). Bien choisis, des outils orientés vers la performance encouragent les organisations qui les adoptent à s'améliorer, c'est le cas par exemple de certaines industries en matière de pratiques liées au développement durable (Lydenberg et al., 2010). Dans l'absolu cependant, et indépendamment du thème particulier de la résilience, l'une des fonctions de base des indicateurs reste de gérer la complexité. En effet, passer par des cadres de mesure s'avère nécessaire pour faire sens d'une réalité complexe. Bien choisir les données à exploiter et à organiser est important pour dégager une vue cohérente, simplifiée, mais pertinente d'une réalité trop complexe à saisir dans son entièreté (Heycox, 2007). Dans ce sens, le but est donc de diminuer la complexité pour la rendre gérable. Cependant, les systèmes de mesure et de performance peuvent générer eux-mêmes de la complexité et entraver une action efficace. Cette complexité non souhaitée peut survenir à différents moments de leur cycle de vie, de leur conception à leur utilisation et à leur amélioration continue pour différentes raisons. (Okwir et al., 2018) Il est donc crucial qu'une organisation sache clairement ce qu'elle veut mesurer et dans quel but, et ce pour éviter une prolifération de données qui deviendrait difficile à gérer et qui ralentirait l'action concrète.

3.1.2 Caractéristiques et dimensions mesurées

La question se pose donc de ce qu'il faut mesurer. Chaque ville étant particulière avec des besoins distincts, il n'est pas réaliste de dégager des données spécifiques à mesurer par toutes les villes. Des principes généraux de résilience ont donc été dégagés, principes identifiés à partir de deux grandes sources: celles rencontrées dans les milieux écologiques ou socioécologiques (Cresswell et Murphy, 2016; Timpane-Padgham et al., 2017) et celles rencontrées dans des communautés urbaines résilientes (Wang et al., 2018). La liste des caractéristiques peut différer d'une publication à l'autre, il ne s'en dégage pas moins des similitudes et un noyau commun. Ainsi, quatre caractéristiques de base des villes résilientes sont identifiées par le programme UN-Habitat : la réflexivité, la robustesse, la redondance et l'ingéniosité (Holly Purcell et UN-Habitat, 2015). La réflexivité est devenue une caractéristique reconnue de la résilience. C'est la capacité à être conscient de son état propre, de l'étendue et des limites de ses connaissances, des

conséquences de ses actions sur soi et sur son environnement et d'ajuster son comportement en conséquence. Cela suppose une participation active des citoyens, une délibération collective et inclusive, une capacité d'apprentissage et une ouverture à la nouveauté (Ferrari, 2020). La redondance consiste en l'existence de plusieurs organisations indépendantes remplissant la même fonction de manière à ce que la chute de l'une n'entraîne pas la disparition de la fonction rendue (Ribeiro et Pena Jardim Gonçalves, 2019). La robustesse a déjà été présentée quant à l'ingéniosité c'est la capacité à générer le plus de solutions différentes possibles face à un problème donné (IGI Global, s.d.).

À ce cœur de caractéristiques s'en ajoutent d'autres. La *Rockefeller Foundation* inclut également la flexibilité, l'inclusion et l'intégration (The Rockefeller Foundation, 2015). D'autres organisations mettent l'accent sur la diversité ou l'adaptativité (Lisa et al., 2015). Devant cette pluralité, une équipe a récemment compilé une large série d'étude sur la résilience urbaine, près d'une centaine sur les quinze dernières années, et a synthétisé les caractéristiques qui reviennent le plus souvent (Ribeiro et Pena Jardim Gonçalves, 2019). Onze caractéristiques ont été dégagées résumées dans le tableau 3.1 :

Tableau 3.1 Caractéristiques de la résilience urbaine (Inspiré de Ribeiro et Pena Jardim Gonçalves, 2019)

Caractéristique	Description	Source
Redondance	Existence de plusieurs composants fonctionnellement similaires	(Godschalk, 2003; Kim et Lim, 2016; Spaans et Waterhout, 2017)
Diversité	Existence de plusieurs composants fonctionnellement différents	(Allan et Bryant, 2011; Godschalk, 2003)
Efficience	Capacité de réagir rapidement et efficacement aux perturbations	(Godschalk, 2003; Kim et Lim, 2016)
Robustesse	Capacité de résistance. Défaillances prévues, proportionnées à la perturbation et contenues (<i>safe to fail</i>)	(Godschalk, 2003; Kim et Lim, 2016; Spaans et Waterhout, 2017)
Connectivité	Connexion des composants du système dans une optique de complémentarité et de support	(Godschalk, 2003)
Adaptation	Capacité d'intégrer l'expérience et d'en développer de la flexibilité	(Allan et Bryant, 2011; Godschalk, 2003; Kim et Lim, 2016; Spaans et Waterhout, 2017)
Ressource	Existence de stocks de ressources rapidement mobilisables et déployables	(Allan et Bryant, 2011; Kim et Lim, 2016; Spaans et Waterhout, 2017)
Indépendance	Capacité de fonctionner en situation adverse de manière autonome	(McLellan et al., 2012)
Innovation	Capacité de développer rapidement des solutions différentes à un même problème en situation de stress	(Allan et Bryant, 2011; Spaans et Waterhout, 2017)
Inclusion	Implication des communautés dans l'élaboration des plans	(Godschalk, 2003; Spaans et Waterhout, 2017)
Intégration	Construction de la résilience à travers différentes échelles spatiales et temporelles	(Godschalk, 2003; Spaans et Waterhout, 2017)

Ces caractéristiques peuvent parfois être nommées différemment comme l’innovation et l’ingéniosité (traduction libre de *resourcefulness*) ou être similaires comme l’indépendance et la modularité, mais elles se retrouvent peu ou prou à des degrés divers dans les principales publications sur la résilience urbaine et son évaluation (Ribeiro et Pena Jardim Gonçalves, 2019).

Selon la même étude, la résilience urbaine est évaluée suivant cinq dimensions principales sur lesquelles se déploient ces caractéristiques : les dimensions physiques, naturelles, économiques, institutionnelles et sociales elles-mêmes divisées en sous-dimensions (Ribeiro et Pena Jardim Gonçalves, 2019). Elles sont succinctement présentées dans le tableau 3.2 ci-dessous :

Tableau 3.2 Dimensions de la résilience urbaine (Inspiré de Ribeiro et Pena Jardim Gonçalves, 2019)

Dimension	Sous-dimensions	Exemples
Physique	Infrastructures, usage et occupation de l’espace...	Ponts, routes, bâti, réseaux IT et énergie...
Naturelle	Écosystèmes	Nature urbaine et périurbaine, réseaux fluviaux, nappes phréatiques...
Économique	Développement économique, dynamisme, emploi...	PIB/h, accès à l’emploi, accès à la propriété, économies personnelles, ressources diverses...
Institutionnelles	Gouvernance, services publics, organisation...	Ministères, lois, services de proximité, équipes d’interventions...
Sociales	Capital humain, mode de vie, démographie, relations sociales...	Réseaux d’entraide, niveaux d’éducation, accès à l’information, solidarité et justice sociale...

Ici encore, la nature et le nombre des dimensions peuvent changer selon les auteurs ou selon le cas particulier étudié, mais ils se recoupent en grande partie. Ainsi, Wang et al (2018) identifient quatre dimensions à travers leur étude : l’organisation spatiale, l’environnement, le service public et le système de gestion (Wang et al., 2018). Celles-ci peuvent respectivement être rapprochées des dimensions physique, naturelle, institutionnelle et d’un mélange de la dimension sociale et institutionnelle. Dans certains contextes particuliers comme la résilience à des risques naturels spécifiques, les dimensions reflètent cette spécificité et sont moins larges dans leur définition. Les dimensions présentées dans le tableau 3.2 ont cependant été choisies de manière à englober la plupart de celles rencontrées dans la littérature (Ribeiro et Pena Jardim Gonçalves, 2019).

Le niveau de détail du traitement de chaque dimension et son évaluation suivant les caractéristiques identifiées dépend de plusieurs facteurs parmi lesquels le type de résilience étudié (spécifique, holistique,

etc) ou la situation particulière de la ville étudiée. Néanmoins les dimensions qui reviennent le plus souvent sont les dimensions institutionnelles et sociales (Ribeiro et Pena Jardim Gonçalves, 2019). Cela suggère que ces aspects sont prioritaires dans l'établissement de la résilience et en effet cela peut se vérifier dans certains cas. Par exemple, l'étude de la résilience aux inondations de deux communautés urbaines pauvres de Bangkok a montré l'importance de leur capacité d'organisation et de l'établissement de relations sociales diverses et variées pour surmonter le désastre (Ahsan, 2013). De même, l'expérience des épidémies en Afrique a montré l'importance d'un système de santé qui soit au plus près des communautés les plus à risque et l'importance des réseaux de proximité (Zhou, 2020). Dans les deux cas, il a été possible de constater ou d'améliorer la résilience à niveau économique constant.

Il est possible de combiner les dimensions précédentes de différentes manières pour exprimer différentes façons de voir la résilience ou pour se concentrer sur la résilience d'un sous-système. Par exemple, pour la résilience d'un ménage (constitué d'une ou de plusieurs personnes) les différentes dimensions peuvent s'articuler schématiquement ainsi :

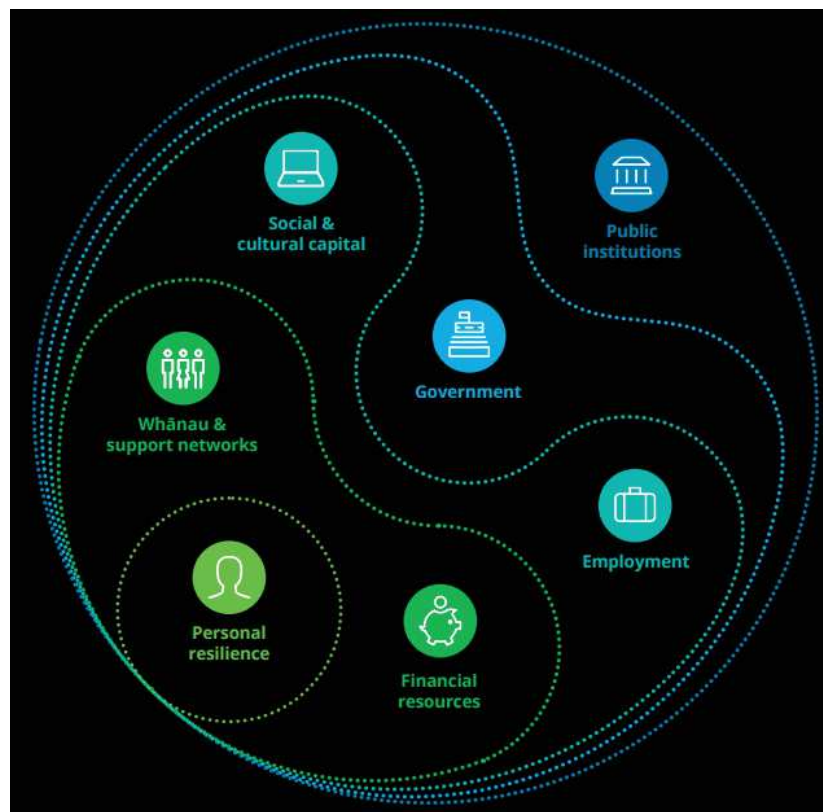


Figure 3.1 Articulation des dimensions de la résilience d'un ménage (tiré de Deloitte, 2017)

Les indicateurs et cadres de mesures présentés ci-après intègrent à leur manière tout ou partie des dimensions présentées plus haut en vue d'évaluer la résilience.

3.2 Les outils de mesure de la résilience

Les outils de mesure de la résilience sont nombreux et variés. Certains traitent de risques naturels spécifiques (inondations, tremblements de terre, tsunamis, etc), d'autres de risques économiques, sociaux ou épidémiques. Certains concernent plus spécifiquement le milieu rural ou des communautés particulières là où d'autres se concentrent sur le milieu urbain. Les cadres et méthodes utilisées varient également. (Nguyen et Akerkar, 2020)

Étant donné l'orientation de cet essai, seuls ont été considérés des cadres de mesure traitant de la résilience urbaine. Parmi ceux-ci ont été choisis des cadres présentant une méthodologie et une présentation similaires où la résilience est vue à travers des dimensions fondamentales, ceci pour faciliter l'analyse et la comparaison, mais également parce que c'est la manière la plus commune d'évaluer la résilience urbaine.

À la lecture de la littérature, deux grandes catégories sont constatées : la résilience face à des risques particuliers, souvent face aux désastres naturels, et la résilience générale. Deux outils de chaque catégorie sont présentés.

3.2.1 Baseline Resilience Indicators for Communities (BRIC)

Le BRIC appartient à la première catégorie, c'est un outil d'évaluation de la résilience face aux désastres d'origine naturelle. Initialement publié en 2010 et mis à jour en 2014, il est principalement destiné à être appliqué au niveau des comtés américains et dispose de 49 indicateurs sur 6 dimensions (Cutter et al., 2010b, 2014). Bien qu'il ne soit pas spécifiquement pensé pour être appliqué à l'échelle stricte d'une ville notamment à cause de certains de ses indicateurs de portée plutôt nationale, il est néanmoins dirigé principalement vers les communautés urbaines. De plus c'est un outil largement utilisé en Amérique du Nord et également adopté dans d'autres pays d'où son inclusion dans cette liste (Scherzer et al., 2019; Singh-Peterson et al., 2014; University of South Carolina, 2015). Le tableau 3.3 présente de façon condensée les six dimensions de l'outil ainsi quelques exemples d'indicateurs fournissant un aperçu général du type de données collectées. La liste complète des indicateurs est présentée en annexe 2 pour consultation :

Tableau 3.3 Dimensions et indicateurs du BRIC (Inspiré de University of South Carolina, 2015)

Dimension	Exemples d'indicateurs
Social et culturel	Niveaux d'instruction, accès aux services de santé, transport, aides sociales, sécurité alimentaire, âge de départ à la retraite...
Économique et financière	Revenus, accès à la propriété, taux d'emploi, inégalité de revenus lié au genre et à l'ethnie...
Infrastructures et logement	Qualité de construction, capacités de logements temporaires, réserves médicales, plans et routes d'évacuation, abris, capacités de production mobilisables...
Institutions et gouvernance	Accès des citoyens aux institutions et pouvoir d'influence, performance, unité vs fragmentation des juridictions, planifications aux accidents et aux catastrophes, expérience passée...
Capacités communautaires	Insertion des individus dans des réseaux sociaux (associations, volontariat, engagement politique, affiliation religieuse), formation aux catastrophes, formations aux premiers secours...
Naturelle et environnementale	Disponibilité des ressources naturelles, structure et fonctionnement des écosystèmes, niveaux de biodiversité, présence de barrières naturelles aux inondations, perméabilité des sols, stress hydrique...

Ces indicateurs permettent d'établir des valeurs de référence qui serviront ensuite à mesurer l'évolution sur le long terme. Ils permettent également de comparer plusieurs communautés entre elles. L'outil peut s'adapter à d'autres pays et dans ce cas le choix et le nombre des indicateurs peut différer ainsi que l'importance relative de chaque dimension ou de chaque indicateur à travers l'introduction de coefficients de poids (Scherzer et al., 2019; Singh-Peterson et al., 2014).

3.2.2 Disaster Resilience Index (DRI)

Le DRI est un outil d'évaluation et de suivi des progrès en matière de réduction des risques et de résilience urbaine face aux catastrophes naturelles initialement développé et appliqué à Mumbai puis dans plusieurs régions d'Inde, des Philippines, de Jordanie et du Népal. Il a été développé en tenant compte des recommandations du Bureau des Nations Unies pour la réduction du risque de désastre. (Khazai et al., 2011). Il est constitué de dix indicateurs groupés autour de cinq dimensions. Le nombre d'indicateurs est volontairement réduit pour poser une base minimale et laisser ensuite toute latitude aux utilisateurs de l'adapter aux particularités de leurs villes en ajoutant les indicateurs qu'ils jugent nécessaires. Les dimensions et indicateurs associés ont été pensés pour répondre à trois objectifs (Khazai et al., 2015) :

- Développement et renforcement des capacités institutionnelles et politiques pour la réduction du risque de catastrophe,
- Intégration systémique d'une approche de réduction des risques dans les services et infrastructures essentiels et dans la préparation face aux urgences,

- Intégration d'une approche de réduction des risques de catastrophe dans les politiques générales de développement et de planification. (Khazai et al., 2015)

Le DRI peut également être considéré comme un outil de suivi des progrès en vue d'atteindre les objectifs précités. Au premier objectif sont dédiées les deux dimensions « processus institutionnels et légaux » et « conscientisation et renforcement des capacités ». Au deuxième objectif sont dédiées les dimensions « résilience des services et infrastructures essentiels » et « préparation, réaction et récupération ». Au troisième objectif est dédié la dimension « planification, régulation et atténuation des risques ». (Khazai et al., 2015)

Notons qu'il n'est pas fourni dans ce cadre de définition exacte des indicateurs et de la manière de les mesurer ou de les calculer. Le DRI met en effet l'accent sur le processus de construction de l'outil par ses utilisateurs et propose un mécanisme en cinq étapes pour y arriver (Khazai et al., 2015). À cet effet, il fournit une liste de caractéristiques à prendre en compte dans la construction de chaque indicateur, construction laissée au soin de l'utilisateur final de l'outil selon les besoins spécifiques qu'il juge nécessaire à sa situation. L'indicateur ressemble donc ici plus à une thématique qu'à la mesure d'une donnée spécifique. Le tableau 3.4 présente les dimensions, indicateurs et caractéristiques tel que proposé par leurs auteurs (Khazai et al., 2015):

Tableau 3.4 Dimensions et indicateurs proposés par le DRI (tiré de Khazai et al., 2015)

Dimensions	Indicateurs	Caractéristiques
Processus institutionnels et légaux	Efficacité du cadre législatif	<ul style="list-style-type: none"> - Lois et réglementation - Conformité et responsabilité - Répartition des ressources financières et humaines
	Efficacité de l'action des institutions	<ul style="list-style-type: none"> - Structure organisationnelle définissant les rôles et responsabilités - Processus de vérification, de mise à jour, d'application, de surveillance et de comptes rendus - Partenariats avec la société civile
Conscientisation et renforcement des capacités	Formation et renforcement des capacités	<ul style="list-style-type: none"> - Ressources dédiées à la formation et au renforcement des capacités - Gestion de la R&D
	Communication, éducation et conscientisation des citoyens	<ul style="list-style-type: none"> - Programmes éducatifs destinés au public mobilisant toutes les parties prenantes - Participation citoyenne et communautaire - Utilisation des TIC pour diffuser l'information - Proactivité dans la relation aux médias

Tableau 3.4 Dimensions et indicateurs proposés par le DRI (suite)

Dimensions (suite)	Indicateurs (suite)	Caractéristiques (suite)
Résilience des services et infrastructures essentiels	Résilience des services essentiels	<ul style="list-style-type: none"> - Programmes inclusifs, participatifs et transparents - Protection des conditions de vie contre le risque naturel - Résilience de fonctionnement des services de santé pendant une catastrophe naturelle
	Résilience des infrastructures	<ul style="list-style-type: none"> - Résilience des systèmes de distribution et d'évacuation des eaux - Résilience des systèmes de transport - Alternatives pour la distribution des biens essentiels
Préparation, réaction et récupération	Gestion des urgences	<ul style="list-style-type: none"> - Présence d'un plan opérationnel d'urgence - Présence de procédures standardisées - Entraînements et simulations en situation
	Gestion des ressources et de la logistique et plans de contingence	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse des ressources et de la logistique - Plans de contingence pour les institutions clés - Capacité de distribution des ressources à la population la plus vulnérable
Planification, régulation et atténuation des risques	Évaluation des risques et de la vulnérabilité	<ul style="list-style-type: none"> - Conscience des dangers et vulnérabilités - Identification et évaluation des risques - Études d'impacts sur secteurs et populations - Prospective et systèmes d'alerte avancée
	Intégration du risque dans la politique de développement urbain	<ul style="list-style-type: none"> - Planification des terres à risque - Contrôle qualité dans la construction - Renforcement et modernisation des infrastructures essentielles

3.2.3 A Framework on Resilient Cities (FRC)

L'OCDE a mené une série d'étude sur la résilience urbaine qui l'a mené à développer un cadre d'évaluation flexible gravitant autour de quatre dimensions : société, gouvernance, économie et environnement (naturel et construit). Le cadre est un document complet fournissant une définition pratique de la résilience dans les villes ainsi que les facteurs les plus susceptibles de la favoriser. Les dimensions retenues sont détaillées en 19 sous dimensions mesurées par 68 indicateurs. Le choix et le nombre des indicateurs sont assez larges pour couvrir une vaste gamme de situations et permettre aux villes qui l'utilisent d'en choisir les plus pertinents pour leurs préoccupations propres. L'outil a déjà été utilisé dans des villes de pays aussi divers que la Turquie, le Brésil, le Japon, le Royaume-Uni, le Portugal, la Norvège, le Canada ou la Finlande. (Figueiredo et al., 2018; OECD, s.d.)

La figure 3.2 donne une vision succincte des principaux éléments mesurés :



Figure 3.2 Schéma des dimensions de l'outil et de quelques indicateurs (tiré de OECD, s.d)

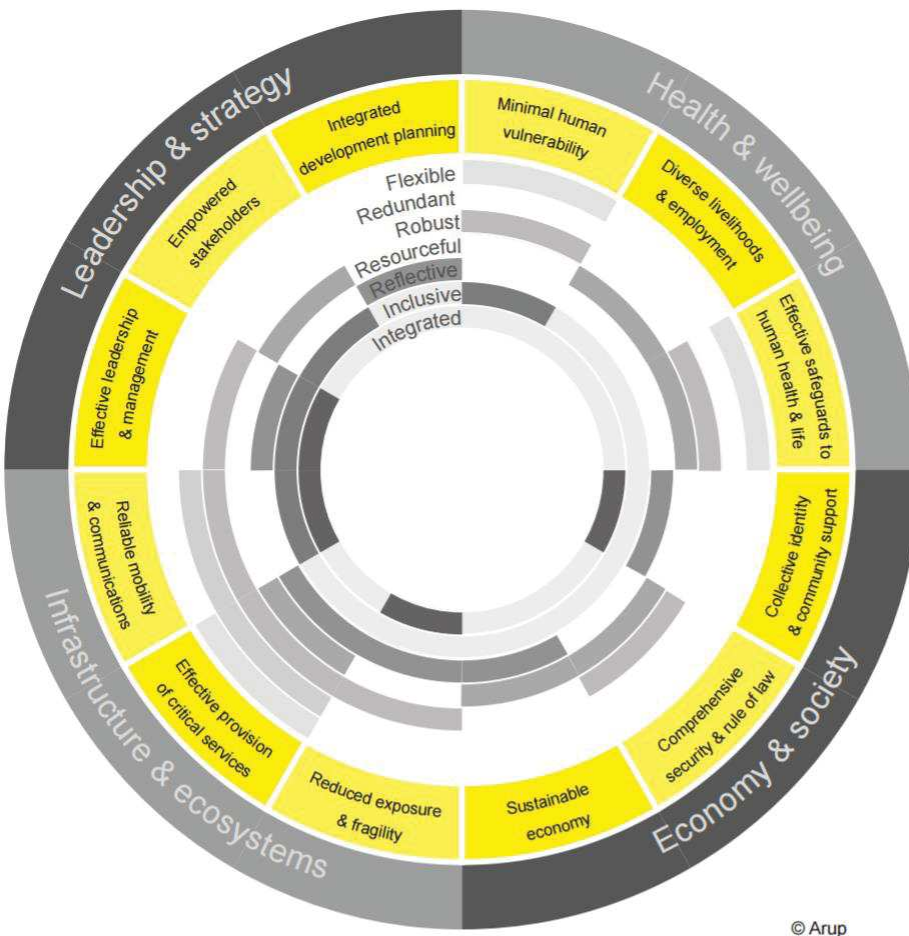
Le tableau 3.5 détaille les dimensions, sous dimensions et quelques exemples d'indicateurs représentatifs du type de données collectées. La liste complète de tous les indicateurs est disponible en annexe 3.

Tableau 3.5 Dimensions et exemples d'indicateurs du FRC (tiré de Figueiredo et al., 2018)

Dimension	Sous dimensions	Exemples d'indicateurs
Sociale	Revenus et inégalité	Indice de GINI
	Capital social et cohésion sociale	Nombre d'associations civiques, sociales, religieuses par 10.000 habitants
	Santé et bien-être	% population bénéficiant d'une couverture santé
	Accès aux services de santé	Nombre de médecins et de lits d'hôpitaux par 10.000 habitants
	Accès aux services d'urgence	Temps de réaction moyen à un appel d'urgence
	Accès aux moyens de communication	% de ménage avec un accès internet haut débit
Économique	Diversité économique	% dépendance à un unique secteur économique
	Innovation et créativité économique	Nombre de nouvelles entreprises créées l'année passée par 100.000 habitants
	Compétences et emploi	Taux de chômage
Environnementale (naturelle et construite)	Logement	% logements exposés au risque et pouvant y résister
	Hébergements temporaires	% population pouvant être relogée dans des abris temporaires
	Énergie	Nombre de sources différentes fournissant au moins 5% du total
	Eau	Nombre de sources différentes fournissant au moins 5% du total
	Écologie et développement durable	% perte des milieux humides
	Accessibilité et transport	% population ayant un accès pratique aux transports publics
Gouvernance	Planification du risque	Cartographie des risques de tout type
	Transparence et responsabilité	% des demandes d'accès à l'information approuvées en moins de 90 jours
	Disponibilité des financements	Moyenne sur dix ans du budget par habitant dédié aux mesures d'atténuation
	Conscientisation et vigilance	Systèmes d'alerte avancée multirisque

3.2.4 City Resilience Index (CRI)

Le CRI, également nommé *City Resilience Framework* (CRF), est un outil d'évaluation de la résilience urbaine à caractère holistique développé en 2015 par Arup avec le soutien de la Rockefeller Foundation. Il a été développé grâce à une combinaison d'études de cas, de revue de littérature et d'enquêtes de terrain auprès des villes les plus impliquées dans la construction de la résilience. Cette analyse a révélé 12 thèmes jugés essentiels pour la résilience urbaine qui ont donné lieu à 12 indicateurs principaux groupés en 4 dimensions. Ces 12 indicateurs sont constitués de 48 à 52 sous-indicateurs composés de 130 à 150 variables. Les sous indicateurs rendent compte de 7 qualités qui ont été retenues par les auteurs de l'outil comme importantes pour les systèmes résilients : la flexibilité, la redondance, la robustesse, l'innovation, la réflexivité, l'inclusivité et l'intégration. Une certaine liberté est laissée aux utilisateurs par rapport à la méthodologie proposée quant au poids et à la construction des indicateurs. L'indice a été testé sur plusieurs villes dans le monde de l'Inde au Chili et de la Chine au Royaume -Uni. (The Rockefeller Foundation, 2015) Le schéma suivant illustre les 12 indicateurs et les 4 dimensions les incluant :



© Arup

Figure 3.3 Dimensions et indicateurs du CRI (tiré de The Rockefeller Foundation, 2015)

Chacun des 12 indicateurs est composé de 4 à 5 sous-indicateurs qui entrent dans son agrégation. Ainsi, l'indicateur « Minimal human vulnerability » qui fait partie de la dimension « Health and wellbeing » est composé des sous-indicateurs suivants :

- Logements abordables et sécuritaires : tous les résidents de la ville doivent avoir accès à des logements à la mesure de leurs moyens financiers et garantissant un minimum de normes de sécurité et de confort.
- Accès adéquat et abordable à l'énergie : tous les résidents de la ville doivent avoir accès à de l'énergie bon marché dont l'approvisionnement est fiable.
- Accès inclusif à de l'eau potable de qualité : tous les résidents de la ville doivent avoir accès à de l'eau potable de qualité en tout temps.
- Assainissement efficace : des réseaux d'assainissement efficaces, sûrs et abordables doivent être accessibles à toute la ville.
- Approvisionnement suffisant et abordable en nourriture : tous les résidents de la ville doivent avoir accès à une nourriture en quantité suffisante et à un coût raisonnable (sécurité alimentaire).

4 COMPARAISON ET ÉVALUATION DES OUTILS DE MESURE DE LA RÉSILIENCE

Nous avons vu que malgré les difficultés que soulève le concept de résilience, cela n'a pas empêché le développement de cadres de mesure. La résilience se prêtant à plusieurs interprétations, l'objectif de cette partie sera alors d'évaluer et de comparer la manière qu'ont les outils présentés précédemment de mesurer cette résilience. Cela nous renseignera sur la vision de la résilience mise en avant par ces outils, sur les similitudes et différences qui existent entre les approches adoptées et d'observer si des tendances peuvent être relevées.

4.1 Démarche méthodologique

Les cadres de mesure présentés au chapitre 3 sont construits selon le même schéma général : des indicateurs mesurant une donnée particulière regroupés dans des dimensions choisies par les auteurs, dimensions qui reflètent les multiples facettes de la résilience. La majorité des cadres disponibles dans la littérature suivent ce principe général. L'évaluation de ces cadres revient donc in fine à l'évaluation des indicateurs choisis et de leur articulation.

Évaluer la capacité des outils à mesurer la résilience implique d'identifier des critères à l'aune desquels se fera cette évaluation. Ces critères ne devront pas être trop spécifiques pour éviter de pénaliser injustement toute une gamme d'outils qui n'y répondraient pas. Ils ne devront pas être trop généraux non plus au risque de ne rien différencier et d'être inopérants. La sélection devra donc se faire sur une base minimale, c'est-à-dire sur des critères jugés strictement nécessaires.

4.1.1 Critères d'évaluation et leurs justifications

Le choix des critères dépendra bien évidemment du choix d'une définition de la résilience. La tendance récente pointe de plus en plus vers une conception de la résilience holistique, dynamique, multiéchelle et transformative. Dans cette optique, qu'est-ce qui est attendu des indicateurs?

Un indicateur a une double identité. La première, celle à laquelle nous pensons spontanément, est sa fonction de mesure d'une grandeur donnée. Un indicateur est en effet porteur d'une information sur le réel. C'est sa fonction première : rendre intelligible, accessible une donnée brute dont l'utilisateur a besoin pour informer une situation. C'est ici le contenu en information qui est recherché, que cela soit le niveau de pollution atmosphérique, celui de satisfaction par rapport à un service public ou n'importe quelle autre donnée. La seconde identité de l'indicateur, à laquelle on prête moins attention ne porte pas sur la donnée mesurée, mais sur la manière de la mesurer. Est-ce une mesure quantitative ou qualitative? Est-ce une mesure subjective ou objective? Ainsi que d'autres propriétés.

Dans notre optique d'évaluation, il conviendra de se pencher sur les deux versants. Nous devons fixer des critères sur le contenu des indicateurs (la donnée mesurée) ainsi que sur les propriétés de ces indicateurs. La prise en compte de ces deux composantes est nécessaire et doit faire partie de tout cadre de mesure de la résilience, car aucune des deux prises séparément n'est suffisante (FAO, 2020).

La composante des données :

En ce qui concerne les données, il nous semble pertinent de revenir aux fondamentaux de la résilience. Comme nous l'avons énoncé à la fin du chapitre 2, la résilience repose sur quatre grands piliers que sont résister, récupérer, s'adapter et se transformer (Ribeiro et Pena Jardim Gonçalves, 2019). Mesurer la résilience nécessite donc de prendre en compte ces quatre piliers. Ainsi, les outils seront jugés sur ce critère principal pour déterminer s'ils rendent compte de la résilience de façon complète (s'ils mesurent la résilience suivant ses quatre piliers). Pour ce faire, les indicateurs utilisés par ces outils seront examinés et jugés en conséquence. Par exemple, un indicateur renseignant sur la conformité aux normes de sécurité des infrastructures est un indicateur qui sera classé dans la catégorie résistance (à un choc physique, naturel ou non). De même pour un indicateur renseignant sur la quantité d'économies à disposition d'un ménage (résistance à un choc économique ou une baisse de revenus). Un indicateur renseignant sur le niveau de préparation des services d'urgence et des moyens qui leur sont alloués serait alors un indicateur de la capacité de réaction et de récupération, et ainsi de suite. De cette façon, il sera possible de se faire un portrait général de l'outil de mesure et de son orientation à travers ses indicateurs. Ce choix du retour au fondamental s'inscrit dans une démarche cohérente avec le cheminement général esquissé tout au long de l'essai ainsi qu'avec l'exigence choisie et énoncée en début de ce chapitre de rester sur un nombre minimal de critères jugés strictement nécessaires.

De plus, comme nous l'avons développé aux chapitres 1 et 2, la résilience des systèmes complexes est également une question de relations. Ainsi, nous observerons à quel point les outils la prennent en considération c'est-à-dire s'ils explorent la résilience en vase clos ou s'ils établissent des relations entre leurs différents composants.

Pour résumer, les critères de cette partie concernent :

- La mesure de la résilience comme un tout s'articulant autour des quatre piliers : résister, récupérer, s'adapter et se transformer,
- La prise en compte des relations entre les composantes.

La composante des propriétés :

Les recherches récentes suggèrent que pour bien mesurer la résilience, il est nécessaire de disposer d'indicateurs qui soient autant quantitatifs que qualitatifs et que les données mesurées aient un caractère aussi bien objectif que subjectif (Constas et al., 2016b). Il y a complémentarité entre indicateurs qualitatifs et quantitatifs et entre données objectives et subjectives, car ils rendent compte de plusieurs aspects de la réalité qui ne peuvent être capturés par une méthode seule ou un point de vue unique. Les aspects qualitatifs et subjectifs sont de ce point de vue de plus en plus pris en compte (Jones, 2019).

Les indicateurs quantitatifs sont directement exprimables sous forme numérique, ils portent sur des quantités chiffrées. Ce sont par exemple le revenu moyen par ménage, le taux d'individus couverts par une assurance tout-risque, la distance moyenne à un centre d'urgence ou le nombre de médecins par habitant. (Constas et al., 2016b)

Les indicateurs qualitatifs s'expriment typiquement sous une forme textuelle et ne sont pas directement exprimables sous forme numérique. Ils sont collectés par l'intermédiaire d'entretiens avec des acteurs clés, des professionnels et des chercheurs du domaine et par observation de cas réels. Ils peuvent ensuite être convertis en expression numérique sur une échelle de valeurs et intégrés à des indicateurs quantitatifs. (Constas et al., 2016b)

Les données objectives sont des données observables chiffrées ou non et non soumises à des jugements personnels. Ce sont des données ayant trait à des phénomènes externes à l'individu qui en fait la mesure. Cela peut aller des données satellites pour les données chiffrées au fonctionnement d'une institution pour les données non chiffrées. (Jones, 2019)

Enfin les données subjectives concernent souvent le ressenti ou le jugement des individus ou des communautés face à leur situation personnelle ou leur environnement. Cela peut concerner par exemple l'évaluation personnelle de son propre niveau de résilience et de préparation face à un risque donné ou la perception de cette résilience au niveau communautaire ou public. (Jones, 2019)

Des données objectives peuvent être mesurées aussi bien quantitativement que qualitativement. Cela vaut aussi pour les données subjectives. L'objectivité ou la subjectivité renvoient à la nature des données mesurées. L'aspect quantitatif ou qualitatif renvoie lui à la manière dont la donnée est mesurée. (Maxwell et al., 2015)

Le deuxième sous-ensemble de propriétés concerne les propriétés spatio-temporelles des mesures.

La résilience étant considérée sous un aspect dynamique, le facteur temps doit donc nécessairement être inclus. Cela implique que l'outil doit être pensé pour couvrir une période qui permet de constater et de prendre en compte les changements. Ces changements peuvent concerner aussi bien les conditions externes et internes auxquels sont soumises les villes et les communautés que des changements issus de pratiques d'adaptation qui sont mises en place. Les indicateurs doivent donc être collectés sur une durée et une fréquence jugée pertinente pour rendre compte de cet aspect dynamique. La fréquence doit être bien étudiée pour suivre correctement l'évolution de la situation, car il y a des variables à changement rapide et d'autres à changement lent, différents indicateurs peuvent donc être mesurés à des fréquences différentes. (FAO, 2020)

La résilience s'opérant également à des échelles spatiales différentes, il est également nécessaire que les indicateurs prennent cet aspect en compte. Cela implique de collecter des données à différentes échelles sociales : individuelles, familiales, communautaires, associatives, et à différentes échelles administratives : rues, quartiers, arrondissements, ville, etc. La dynamique de la vie urbaine étant en évolution constante et rapide, l'aspect de la durée et de la fréquence a toute sa place ici. (FAO, 2020) Outre la question des échelles spatiales, Il est également important de considérer l'élément de l'étendue spatiale, c'est-à-dire de considérer la frontière du système étudié. En effet, l'étude de la résilience urbaine se concentre principalement sur les actifs (tangibles ou intangibles) de la ville et ceux-ci sont localisés dans un périmètre urbain bien déterminé, celui des limites physiques de la ville. Or, cette approche peine à considérer les dépendances externes. Par exemple le risque d'inondation peut se gérer par des équipements situés à l'extérieur de la ville au plus près de la zone à risque. D'autres exemples existent, notamment le cas de l'approvisionnement énergétique et ainsi de suite. (Arup, 2014) Il est donc important de déterminer si les outils se concentrent uniquement sur le périmètre urbain ou s'ils font allusion à des dépendances externes.

Pour résumer, les critères de cette partie concernent :

- L'opposition du qualitatif et du quantitatif,
- L'opposition de l'objectif et du subjectif,
- Les propriétés spatiales et temporelles.

4.2 Évaluation comparative des outils

L'évaluation des outils suivant les critères développés dans la partie précédente a permis de dresser un portrait différencié des quatre outils présentés au chapitre 3. Le tableau 4.1 en est l'illustration :

Tableau 4.1 Évaluation comparative des outils

	Critères des données		Critères des propriétés				
	Résilience sur les 4 piliers	Interrelations	Obj vs Subj	Quantitatif vs Qualitatif	Échelles spatiales	Frontières	Sensibilité temporelle
BRIC	Non	Non	Totalement objectif	Totalement quantitatif	Peu différenciées	Considérées	Faible
DRI	Non	Non applicable	Non applicable	Non applicable	Multiples	Non applicable	Élevée
FRC	Non	Non	Quasi totalement objectif (92%)	Très largement quantitatif (86%)	Moyennement Différenciées	Considérées	Moyenne
CRI	Oui	Oui	Quasi totalement objectif (94%)	Quantitatif à plus de 70%	Multiples	Considérées	Bonne

Les paragraphes qui suivent détaillent, pour chaque outil, les éléments qui ont servi à produire ces résultats.

4.2.1 Le BRIC

Rappelons l'objet du premier critère. Il s'agit de constater si l'outil rend compte de la résilience suivant les quatre piliers énoncés auparavant : résister, récupérer, s'adapter et se transformer. Le BRIC est un outil classique construit autour d'indicateurs clairs et précis. Ces indicateurs ont été examinés un à un. Leur analyse a montré qu'ils sont orientés majoritairement vers la mesure des capacités de résistance et de récupération et marginalement vers la capacité d'adaptation. Seuls trois piliers sur quatre sont donc considérés. Par exemple dans la dimension sociale, l'indicateur du nombre de centres d'aide psychosociale par 10.000 personnes renseigne sur les capacités de résistance et de récupération face au stress psychologique et social. De même, dans la dimension économique, l'indicateur du pourcentage de personnes propriétaires de leur logement renseigne sur la résistance à un choc économique ou à une baisse de revenus puisque les personnes propriétaires de leur logement sont moins susceptibles de se retrouver dans la précarité en ce qui concerne le besoin de se loger. La capacité de récupération est par exemple illustrée par le nombre de lits d'hôpitaux, le nombre d'hôtels et d'écoles publiques par 10.000 personnes dans la dimension infrastructures. Plus ce nombre est élevé et plus il est possible de faire face

rapidement à une urgence sanitaire ou à une urgence de relogement temporaire en cas de catastrophe. Ces quelques exemples illustrent la tendance générale du BRIC de se concentrer sur les deux premiers piliers : résistance et récupération. La majorité des indicateurs concernent ces deux piliers. En comparaison, le troisième pilier l'adaptation, est moins exploré. C'est par exemple le cas par l'intermédiaire d'un indicateur comme le ratio des grandes aux petites entreprises. Une économie constituée d'une multitude de petites entreprises variées est plus agile et plus adaptable qu'une économie centrée autour d'un nombre réduit de grandes entreprises qui peuvent de ce pas représenter un risque systémique plus grand, elle est également plus résistante aux chocs. Le dernier pilier, la transformation, n'est représenté par aucun indicateur. En conclusion, le BRIC mesure surtout des capacités de résistance et de récupération et peu ou pas les capacités des deux autres piliers.

Le second critère concerne les interrelations entre les composants. Fondamentalement, les indicateurs à l'intérieur de chaque dimension ne font pas mention de données extérieures au thème de leur dimension et sont très circonscrits. Les dimensions affichent donc une certaine indépendance entre elles (Cutter et al., 2014). Cela est accrédité par la manière de calculer l'indice de résilience global. Chacune des six dimensions reçoit un score allant de 0 (résilience nulle) à 1 (résilience maximale), les scores de chaque dimension sont ensuite ajoutés pour produire un score global pouvant donc varier de 0 à 6 (Cutter et al., 2014). Cette manière de calculer et d'additionner les scores de chaque dimension séparément implique que les interrelations qui existent entre les différentes dimensions de la résilience ne sont pas prises en compte dans le score. La résilience est donc considérée ici comme un agrégat.

Enfin, concernant les critères de la composante des propriétés, la revue des 49 indicateurs du BRIC révèle qu'ils sont tous de type quantitatif et objectif avec une différenciation des échelles spatiales limitée. Ce sont en effet des statistiques collectées habituellement au niveau national et régional et rarement à une échelle inférieure. Concernant la question des frontières, il est fait mention d'actifs qui se trouvent à l'extérieur des villes et qui ont une influence sur celles-ci comme les fermes agricoles proches pour la sécurité alimentaire ou le pourcentage de milieux humides pour l'effectivité des zones tampons ainsi que d'autres exemples. L'outil adopte donc une certaine considération des connexions avec les autres systèmes, ce qui va dans le sens de son échelle d'application qui est plus large que celle de la ville stricto sensu. Cela n'est cependant pas fait de façon systématique. Enfin, concernant l'aspect temporel, on constate que le type de données collectées concerne surtout de grandes tendances qui varient peu avec le temps et qui ne sont pas mises à jour régulièrement. De plus, ce genre de données n'est pas toujours facilement mesurable par les comités eux-mêmes ce qui peut limiter la fréquence de réutilisation de l'outil

d'où la sensibilité temporelle faible. Par ses propriétés et la nature des données mesurées, l'outil est davantage réflexif et permet l'établissement d'un point de référence à partir duquel identifier ses forces et faiblesses et établir des cibles d'amélioration. Cela est en cohérence avec l'analyse de la *Federal Emergency Management Agency* (FEMA) qui voit le BRIC comme un outil de diagnostic prédésastre renseignant sur l'état de préparation face à de multiples risques naturels d'où également l'accent mis sur les capacités de résistance et de récupération (Edgemon et al., 2018).

4.2.2 Le DRI

Le DRI est un outil dont la conception et la mise en œuvre présentent des différences fondamentales avec le BRIC. Ces différences ont fait que les critères d'évaluation ne lui sont pas directement applicables en l'état d'où la mention « non applicable » sur plusieurs critères du tableau. En effet, le DRI a été essentiellement pensé en vue d'une co-construction par les principales parties prenantes impliquées dans la résilience urbaine. Dans ce contexte, la méthodologie est personnalisable et chaque dimension peut être explorée par des indicateurs supplémentaires choisis par les parties prenantes elles-mêmes. (Khazai et al., 2015) Les dix indicateurs proposés par l'outil représentent des fondamentaux, mais ils ne sont pas définis de façon univoque. Ils sont plutôt accompagnés d'une liste de caractéristiques sur lesquels les parties prenantes peuvent se baser pour définir leurs propres indicateurs. L'outil propose un processus participatif en cinq étapes au terme duquel chaque ville aura créé un outil personnalisé et contextualisé à sa situation particulière. (Khazai et al., 2015) Il n'est donc pas possible d'appliquer directement sur ce cas-ci les critères d'évaluation retenus. Une ville A peut privilégier des indicateurs qualitatifs et subjectifs là où une ville B peut choisir des indicateurs plutôt quantitatifs et objectifs, de même pour la prise en compte des interrelations ou de l'étendue des frontières considérées.

Cela dit, un certain nombre de principes émergent et sont mis en avant aussi bien dans le processus participatif que dans l'orientation des indicateurs proposés par le DRI. En effet, le DRI encourage explicitement de différencier les échelles spatiales d'intervention en précisant ce qui est du ressort des multiples échelons administratifs de la cité. Il encourage également d'identifier les groupes, communautés et quartiers les plus vulnérables et de les inclure dans le processus de co-construction. (Khazai et al., 2015) Ceci implique d'intégrer des enjeux très localisés. La ville n'est donc pas seulement traitée au niveau global. Il y a une volonté de prendre en compte les sous-systèmes de la ville. Le DRI encourage donc à considérer plusieurs échelles spatiales.

Le DRI se considère également un outil de mesure et de suivi de la performance et, à ce titre, encourage une utilisation itérative de l'outil en vue d'une amélioration continue. Il inclut pour ce faire des données

concernant le développement d'études d'impact, de planification, de mises en situation par la conduite de simulations, de formation permanente, etc. (Khazai et al., 2015) Il est donc prévu pour être appliqué de façon répétée et pour mesurer les changements au cours du temps. Enfin, la souplesse et la facilité d'utilisation concourent à justifier l'évaluation de sa sensibilité temporelle comme élevée.

Enfin le DRI étant principalement un outil de résilience face aux désastres, il met l'accent sur l'aspect fonctionnel et opérationnel des services et infrastructures essentiels. Bien que largement personnalisable, il privilégie les aspects de résistance et de récupération. Le caractère itératif de l'outil vise néanmoins à mettre en place une dynamique progressive d'adaptation. Plus souple que le BRIC, il ne vise cependant pas encore à mesurer la résilience de façon holistique sur ses quatre piliers.

4.2.3 Le FRC

Le FRC est un outil plus classique que le DRI et de ce fait plus proche du BRIC dans sa construction. Il dispose en effet d'indicateurs clairement définis mesurant des données non ambiguës. Il laisse de ce fait moins de liberté que le DRI. Son évaluation se rapproche donc de celle du BRIC. Quelques différences les distinguent cependant. Là où le BRIC est complètement quantitatif et objectif, le FRC ouvre le champ à des données subjectives et qualitatives. La plupart des indicateurs subjectifs se trouvent dans la dimension sociale et concernent principalement la perception par l'individu de l'importance de son réseau de solidarité et de sa situation de résilience personnelle. Les indicateurs qualitatifs se trouvent exclusivement concentrés dans la dimension institutionnelle et concernent l'organisation structurelle des institutions et les plans, projets et budgets associés des différentes agences gouvernementales. L'aspect quantitatif et objectif reste cependant dominant. La majorité des indicateurs appartenant à ce type.

La prise en compte des échelles spatiales est également un peu plus poussée que dans le BRIC surtout à travers les dimensions sociales et institutionnelles où les indicateurs mesurent des données aux échelles individuelles et communautaires ainsi qu'aux échelles des quartiers et de la ville avec par exemple un indice de ségrégation spatiale détaillé. La différenciation spatiale est cependant peu ou pas marquée en ce qui concerne les indicateurs des autres dimensions d'où la mention « moyennement différenciées ».

La temporalité est également un élément de différence en même temps qu'un élément de ressemblance. En effet, les indicateurs ont des temporalités différentes, mais une grande partie fait habituellement l'objet de statistiques au niveau national et possède une certaine inertie comme le taux de pauvreté ou l'indice de GINI. D'autres peuvent varier plus rapidement, mais peuvent s'avérer plus difficiles à suivre et à mesurer comme le pourcentage de quartiers dont les habitants se réunissent régulièrement dans des associations. Les petites municipalités avec des moyens réduits ne pourront donc pas forcément mener

des enquêtes régulières pour les mettre à jour ou n'en verront pas l'utilité. Cependant, avec 13 indicateurs décrivant clairement des processus (et non juste des données statiques) et 37 indicateurs décrivant des résultats de processus passés ou en cours, l'outil se veut dynamique et essaie d'intégrer l'aspect temporel comme partie intégrante de sa structure. Ces deux tendances contraires font que la sensibilité temporelle a été jugée moyenne.

Le FRC ne se limite pas totalement au périmètre urbain de la ville. Il fait également référence aux dépendances extérieures par exemple concernant la diversification des sources d'énergie et des sources d'eau douce. Il inclut par ailleurs un indicateur mesurant la connaissance géographique des principaux risques naturels entourant la ville ainsi que les principales routes qui la traversent et qui peuvent servir de routes d'évacuation ou d'approvisionnement. Cet aspect d'explorer des facteurs extérieurs à la ville est donc présent, bien que minoritaire.

Enfin et bien que plus diversifié dans sa composition que le BRIC, le FRC reste centré autour de la mesure des capacités de résistance et de récupération. En effet, plus d'une trentaine d'indicateurs mesurent des qualités de robustesse comme dans le cas des infrastructures ainsi que des qualités de mobilisation de ressource comme dans le cas des institutions. Cependant, les capacités d'adaptation ne sont pas absentes. Une vingtaine d'indicateurs renvoient à des qualités de flexibilité, d'ingéniosité et de créativité comme le nombre de brevets enregistrés et le nombre de nouvelles entreprises créées annuellement ou le pourcentage de la population disposant d'un enseignement supérieur. Ces indicateurs peuvent être considérés comme des proxys mesurant le dynamisme d'une ville et donc indirectement ses capacités d'adaptation. La résilience mesurée par le FRC est donc à portée plus large que celle mesurée par le BRIC, mais la non-prise en compte des capacités de transformation implique donc que la résilience n'est pas tout à fait considérée selon ses quatre piliers.

4.2.4 Le CRI

Le CRI est un outil de mesure de la résilience urbaine qui se veut holistique dès sa conception. Il ne mentionne donc pas de risque particulier et tente clairement d'aller au-delà de la mesure des seules capacités de résistance et de récupération. Ces dernières sont évidemment présentes dans les dimensions liées aux infrastructures et aux services de secours et de santé, par exemple dans la mesure de la robustesse et de l'efficacité des systèmes de santé publique, de la qualité des équipes d'intervention d'urgence ou de la qualité des infrastructures essentielles entre autres mesures. Le CRI intègre cependant dans une bien plus grande proportion que les autres outils des indicateurs considérés comme des proxys des capacités d'adaptation et de transformation et cela dans chacune de ses quatre dimensions. Ainsi dans

la dimension santé et bien-être sont inclus des indicateurs mesurant les ressources mises à disposition des entreprises pour faciliter leur adaptation à des circonstances changeantes ainsi que les mécanismes mis en place pour encourager un environnement économique local dynamique, inclusif et adaptable. Dans la dimension économie et société est incluse la nécessité de développer une base économique diversifiée et attractive adossée à des services publics compétents et efficaces dans le domaine de la justice et de la lutte contre la corruption. La dimension du leadership et de la stratégie inclut des indicateurs mesurant la disponibilité pour tous d'une éducation supérieure de qualité, d'une politique de conscientisation du public active adossée à des mécanismes efficaces qui permettent à un public conscientisé de participer avec les institutions de la ville dans la construction de la résilience. D'autres exemples pourraient être fournis. Ceci pour dire qu'un réel effort est fait pour encourager les capacités d'adaptation, mais aussi pour développer des qualités comme l'innovation, l'inclusion et l'efficacité. Or ces trois dernières qualités sont considérées comme constitutives de la capacité de transformation (Ribeiro et Pena Jardim Gonçalves, 2019). Le CRI, en incluant des mesures sur les quatre piliers de la résilience (résistance, récupération, adaptation et transformation) affiche donc une nette tendance vers la mesure de la résilience de façon holistique.

Le CRI prend également en compte les relations entre les dimensions. En effet, la plupart de ses indicateurs sont composites et intègrent plusieurs thématiques en une. Par exemple les indicateurs de la dimension de la santé et du bien-être incluent des données concernant l'accès à l'emploi et à des logements de qualité en plus des indicateurs classiques concernant les services de santé et de la sécurité alimentaire. De même pour la dimension économique qui inclut des indicateurs concernant la qualité des institutions et l'engagement des communautés dans la vie de la cité et ainsi de suite. Les mêmes observations valent pour les deux autres dimensions. Le CRI considère donc que ces dimensions ne sont pas des vases clos, mais qu'elles communiquent entre elles par l'intermédiaire d'indicateurs qui combinent des données diverses.

Concernant les critères des propriétés, les indicateurs sont en quasi-totalité objectifs et en majorité quantitatifs. Cela découle de la volonté de ses créateurs d'adopter une démarche scientifique dans la création de l'outil et de favoriser une certaine reproductibilité.

Le CRI tient également compte de différentes échelles spatiales. Des indicateurs sont en effet présents pour mesurer aussi bien le dynamisme économique des petites et moyennes entreprises que la santé économique globale. De même pour l'implication des citoyens à différents niveaux. Cela va des associations de quartier à la participation des communautés aux processus décisionnels de la ville à

différents niveaux. Cela vaut également pour les autres domaines comme la préparation aux désastres à travers des plans d'ensemble au niveau de la ville, mais aussi à travers l'identification des zones les plus à risque et l'établissement de plans à plus petite échelle.

Enfin concernant la dynamique temporelle, des indicateurs mesurant les capacités présentes et donc établissant un état de référence coexistent avec des indicateurs renseignant sur les processus ou les projets en cours et leurs résultats. Ceci en vue d'établir un suivi de performance qui encourage les processus de changement. Le CRI ayant été pensé pour être réutilisable, il intègre donc cet aspect temporel.

Enfin, il est fait mention de liens externes à la ville surtout dans la dimension économique qui mesure l'intégration économique régionale et globale de la ville et dans la dimension institutionnelle qui mesure le degré d'interaction avec les différents échelons institutionnels (ville, région, nation...).

5 ANALYSE ET DISCUSSION

La présentation et l'évaluation des outils présentés au chapitre précédent ont produit des résultats intéressants. L'objet de cette partie est de les analyser et de les discuter en lien avec tous les éléments présentés dans cet essai à propos de la résilience.

5.1 La diversité des outils

Le résultat principal de l'évaluation menée précédemment est double : la constatation d'une diversité des outils, de leurs objectifs, méthodes et parti pris ainsi qu'une certaine tendance générale qui se dégage.

La diversité s'exprime sur plusieurs plans. Elle transcende le distinguo entre la résilience spécifique et la résilience générale. En effet, des observations similaires peuvent être faites dans ces deux grandes catégories. Prenons la résilience spécifique représentée dans cet essai par la résilience aux désastres. Le BRIC mesure la résilience par l'intermédiaire d'indicateurs définis de façon précise et non ambiguë. Le cadre est fixe, les indicateurs sont définis à l'avance et mesurent pour la plupart des capacités existantes ou passées de façon objective. Cela rappelle une vision d'ingénieur qui se représente la résilience comme une quantité objective extérieure à celui qui la mesure et qu'il serait possible de calculer en mesurant des propriétés connues, fixées et indépendantes les unes des autres.

Par contraste, le DRI n'impose pas d'indicateur défini à l'avance. Il met plutôt l'accent sur la construction par les utilisateurs eux-mêmes de leur propre outil. Certes, il fournit un cadre, des directives, des indicateurs sommairement définis sur lesquels se baser et un processus à suivre. Mais il laisse de ce fait une plus grande liberté et une place à l'expérimentation. Cela sous-entend que la résilience n'est pas définie à l'avance une fois pour toutes et qu'elle n'est pas nécessairement la même pour tout le monde. Partant de l'idée que chaque communauté est mieux à même de percevoir les facteurs qui peuvent la rendre plus résiliente du fait de son ancrage local et de son expérience, le DRI introduit implicitement une certaine dose de subjectivité dans la construction de l'outil. Cela implique qu'il n'y a pas une seule approche face à la résilience et que l'une n'est pas forcément plus valide que l'autre. La prise en compte naissante de la subjectivité dans la résilience et l'attention dont elle commence à bénéficier est un argument qui va dans ce sens (Jones et Tanner, 2015). Le DRI insiste également sur la reconduction régulière du processus. Cette reconduction permet une réévaluation constante des besoins et de l'effectivité de l'outil mis en place lors de l'itération précédente. Cela entraîne donc une mise à jour régulière de l'outil et de ses indicateurs qui, de fait, est en évolution constante. Il est donc implicitement admis que les conditions de la résilience ne sont pas fixes, que celle-ci est changeante et qu'il faut donc accompagner ce changement. Nous avons donc affaire à une vision de la résilience qui s'inspire du courant

évolutionniste. La résilience est considérée dans son aspect dynamique. L'absence d'indicateurs fixés à l'avance couplée à l'incitation de reconduire le processus insuffle la flexibilité nécessaire pour intégrer cet aspect dynamique. Cela favorise également l'apprentissage par retour d'expérience or l'apprentissage représente l'une des qualités clés de l'adaptabilité et de la transformabilité qui à leur tour favorisent une résilience globale. Ces qualités font également partie de celles rencontrées dans la résilience des systèmes socioécologiques. Nous constatons donc qu'au sein même de la catégorie de la résilience aux désastres il existe au moins deux outils qui s'inspirent de principes différents.

Il est possible de conduire à peu près la même analyse concernant les outils de résilience globale que sont le FRC et le CRI avec quelques bémols cependant. En effet comme constaté au chapitre précédent, le FRC reprend les caractéristiques de base du BRIC. Des indicateurs fixés définis en dehors de tout contexte local et tendant vers l'objectivité. Ces indicateurs ont bien sûr leur légitimité et mesurent des caractéristiques reconnues comme favorisant la résilience. Il est donc tentant d'arriver à la même conclusion, celle d'une inspiration mécanique ou d'ingénieur de la résilience. Le FRC introduit cependant une temporalité et un aspect dynamique et spatial. Il est alors difficile d'affirmer qu'il est issu d'un paradigme strictement mécanique. Le FRC ne semble donc pas s'inscrire clairement dans un paradigme en particulier.

Le CRI à son tour se distingue d'une autre manière. Il partage des caractéristiques communes aux autres et y adjoint ses propres particularités. Pour ce qui est des caractéristiques partagées, le CRI est construit autour de dimensions et d'indicateurs assez clairement définis et il se rapproche en cela du BRIC et du FRC. Ce qui le distingue cependant est sa prise en compte plus importante des interrelations entre les dimensions et les échelles spatiales de la ville. Cela le rapproche du paradigme des systèmes complexes. En effet, ces derniers sont caractérisés par les relations qui lient leurs sous-systèmes et les boucles de rétroaction qui s'y créent. Le CRI n'ambitionne pas de modéliser la ville comme un système complexe, ce n'est pas son rôle. Cependant, la prise en compte plus franche des interrelations par ses indicateurs et la nature hybride de ses dimensions témoigne de la reconnaissance de cet aspect-là. De plus l'introduction de l'aspect qualitatif dans l'outil participe également de cette tendance. Les systèmes complexes sont en effet connus pour se prêter difficilement à des analyses quantitatives classiques. Il n'est pas évident de les mettre en équation et le tout quantitatif n'est pas forcément la meilleure manière de les aborder. Le CRI en réservant une place non négligeable à des mesures qualitatives s'inscrit dans cette logique. Nous pouvons donc en conclure que l'inspiration des systèmes complexes est bien présente. Contrairement au DRI cependant, il n'est pas aussi personnalisable ni aussi manipulable. Le nombre des indicateurs et variables impliqués fait qu'il se prête moins à une utilisation aussi régulière que le DRI et encore moins à

une reconstruction à travers un processus participatif comme le fait le DRI. L'aspect dynamique est donc moins prononcé même s'il est pris en compte par ailleurs. Or l'aspect dynamique est également une caractéristique centrale des systèmes complexes. Nous constatons donc encore une fois une situation contrastée ou hybride.

Il n'est donc pas évident de répondre à la question de si les outils mesurent la résilience. Une évaluation rapide pourrait nous faire conclure que les outils mesurent chacun la résilience à leur façon, différemment et imparfaitement. Il pourrait même y avoir une certaine complémentarité entre eux. Mais on peut tout aussi bien conclure que les outils ne mesurent pas la résilience différemment : ils mesurent plusieurs sortes de résilience. Par son aspect réflexif et simple, le BRIC mesure une résilience de conservation inspirée d'un paradigme mécanique. Par son aspect expérimental et évolutif, le DRI mesure une résilience évolutive comme on en rencontre dans les systèmes socioécologiques. Le FRC quant à lui s'inscrit dans une position floue à la frontière de plusieurs paradigmes. Enfin, le CRI par son emphase sur les interrelations essaye de s'inscrire dans la résilience des systèmes dynamiques complexes tout en ayant du mal à intégrer l'aspect dynamique.

La difficulté de classer les outils résulte directement de la difficulté de caractériser la résilience. Le paysage divers qu'offrent les outils de mesure n'est donc que le reflet de la diversité d'approche rencontrée pour aborder le concept de résilience. Cela a pour conséquence qu'aucun outil n'est intrinsèquement meilleur qu'un autre ou qu'il mesure mieux la résilience qu'un autre. Tout dépend du type de résilience qu'on veut mesurer. Cela implique également qu'il ne saurait être question de considérer un outil particulier comme l'alpha et l'oméga à partir duquel baser une politique. Il faut être bien conscient de l'orientation de l'outil, de ses atouts et de ses limites pour pouvoir évaluer la pertinence de son utilisation dans telle ou telle situation.

Les outils dégagent également une tendance générale : une organisation selon des dimensions et des indicateurs, une tendance vers l'objectivité quantitative, des dépendances externes superficiellement exploitées, des données génériques souvent issues du développement durable et des études de vulnérabilité ... Ce dernier point en particulier témoigne du fait que la résilience est souvent mesurée indirectement par proxys. Il n'y a donc pas d'accès direct à la résilience. Cette difficulté vient de plusieurs facteurs, mais elle doit renforcer la vigilance par rapport aux outils. Il ne faut en effet pas confondre la résilience avec ses outils. Ce danger existe, car la résilience est complexe à définir et à appréhender. Par contraste, les outils de mesure présentent un cadre clair et défini ce qui peut avoir pour effet de combler ce besoin de clarté et de faire méprendre l'outil de mesure (ses critères, ses sensibilités, etc) pour la

résilience elle-même. Ceci d'autant plus que, comme le suggère la revue de littérature menée au chapitre 1, l'évolution du concept de résilience semble suivre une direction de plus en plus large et englobante. De la résilience des matériaux en passant par la résilience d'ingénieur, fonctionnelle, écologique puis socioécologique, le concept se complexifie et se nuance avec le temps. Cette complexification croissante implique que la résilience est de moins en moins susceptible de se laisser enfermer dans un cadre de mesure particulier. Or, le danger qui s'en suit est que ces cadres de mesure lui imposent leur propre définition. Comme l'analyse l'a montré, chaque outil de mesure est porteur d'une certaine vision de la résilience et porte donc avec lui sa propre définition de ce qu'elle doit être. Ceci fait donc courir le danger que, si l'on n'aborde la résilience que par l'intermédiaire des outils, on finisse par adopter la vision de la résilience véhiculée par ces outils et perdre ainsi la vision d'ensemble. Or l'utilisation des outils de mesure est amenée à augmenter. En effet, la nécessité de justifier des financements de projets et de politiques qui se réfèrent de la résilience, de les diriger vers des programmes adéquats et de contrôler les dépenses impliquent une demande et une utilisation accrue d'outils de mesure et de suivi de performance. Le danger est donc réel, à force d'utilisation, de finir par ne considérer la résilience qu'à travers cette lentille. Une lentille qui, comme nous venons de le voir, est partielle (et partielle?) ce qui in fine pourrait conduire à l'effet inverse de celui escompté. Moins de résilience à cause d'une trop grande dépendance à des outils qui ne la mesurent qu'imparfaitement et indirectement. Il est possible d'illustrer ici les effets délétères d'une utilisation étroite et routinière d'outils de mesure par la tragédie de l'hôpital de Stafford au Royaume-Uni. L'obligation de suivre des indicateurs de performance censés optimiser la gestion de l'hôpital pour atteindre des cibles quantitatives fixées à l'avance a conduit à la dégradation des services de soins apportés aux patients ce qui a débouché sur le décès de près d'un millier de personnes entre 2005 et 2008 (BBC News, 2013; Levine, 2014). Le suivi aveugle d'indicateurs particuliers a fait perdre de vue à l'hôpital sa vision d'ensemble ainsi que sa mission première qui est de soigner les patients et non d'être « efficient ». De telles mésaventures sont constitutives d'une trop grande dépendance par rapport à des outils qui, quelle que soit leur sophistication, ne peuvent dépendre correctement toutes les nuances de la réalité et peuvent parfois être inadaptés.

5.2 Le problème de la mesure

La fin de la section précédente nous conduit à nous interroger sur la possibilité même de mesurer la résilience. En effet, certaines publications considèrent qu'elle n'est tout simplement pas mesurable, ou plus précisément que la quantification de la résilience n'est pas pertinente et ne nous renseigne pas sur la résilience (Levine, 2014). La diversité des définitions et des paradigmes, la multiplicité des facteurs à prendre en compte, l'aspect dynamique et évolutif, tous ces éléments font qu'il ne peut être question d'un

outil ou d'un modèle qui rende compte de façon satisfaisante de tous ces paramètres à la fois. Partant du principe que plus un concept est correctement et précisément défini plus facile est sa mesure, une solution serait de réduire la résilience à une définition qui permettrait de la mesurer sans ambiguïté : une définition de portée pratique. Cette solution aurait l'inconvénient de supprimer ce qui fait précisément la richesse et la fécondité de la résilience : sa pluralité et son contact à l'interface de plusieurs disciplines. Ce qui serait mesuré ne serait alors plus la résilience en tant que telle, mais une simple donnée technique qui n'intéresserait alors plus qu'un nombre réduit de spécialistes. (Levine, 2014)

À cette difficulté conceptuelle s'ajoute l'inadéquation des cadres de mesure basés sur des indicateurs. Ces cadres ne diffèrent au fond que par le choix des indicateurs et par la manière dont ils sont combinés et calculés au sein d'un indice. Ces indicateurs sont choisis avec l'idée que les données mesurées par eux contribuent à définir la résilience. Or le choix de ces indicateurs repose moins sur des preuves empiriques que sur un jugement. Il n'existe en effet à l'heure actuelle pas de preuves ou de procédure de démonstration qui déterminerait quelles sont les caractéristiques précises à mesurer pour rendre compte de la résilience. De plus, il n'existe même pas de consensus sur ce que ces preuves peuvent ou doivent être. Il est donc plus prudent d'affirmer que les caractéristiques mesurées par les indicateurs ne sont pas constitutives de la résilience, mais uniquement des facteurs de vraisemblance de la résilience. (Levine, 2014) Ceci relativise la portée des outils et des efforts de mesure.

Les indicateurs doivent finalement être considérés pour ce qu'ils sont : un moyen d'indiquer un chemin. Or les indicateurs ne sont pas neutres et sont souvent issus de disciplines connexes. Ils apportent donc de façon implicite les hypothèses de base et la vision de ces disciplines. À ce titre, ils peuvent apporter un éclairage sur la résilience, un point de vue. Ce point de vue peut s'avérer pertinent dans certains cas, mais il n'est pas évident de savoir dans quel cas tel indicateur est pertinent et tel autre non. De plus ils transmettent une image instantanée valide à un certain moment, or la résilience dans le paradigme des systèmes complexes est une propriété émergente qui s'exprime dans la durée. Il s'ensuit que la présence de certaines caractéristiques jugées bonnes pour la résilience comme la présence de certaines capacités de réaction et d'adaptation n'est pas suffisante. D'une part leur présence à un instant t n'implique pas leur présence à tout instant. D'autre part leur présence au cours d'un choc n'implique pas forcément que ces capacités vont être utilisées efficacement ni même qu'elles vont être utilisées du tout. (Lisa et al., 2015)

La résilience peut donc difficilement être évaluée a priori. Il est plus facile de constater a posteriori la résilience que de la prévoir. Or les instruments de mesure ne sont pas des instruments de prédiction. Ils s'ancrent nécessairement dans le présent et il est tentant de chercher à constater ce qui a marché dans le

passé pour le reproduire dans le futur. C'est ainsi que plusieurs indicateurs et outils sont construits. Ils sont basés sur un retour d'expérience passé. Or le passé ne peut pas toujours être un guide. Cela est d'autant plus vrai dans le contexte urbain où les changements s'opèrent à une grande vitesse. Les comportements sociaux aussi bien que les conditions économiques, le fonctionnement des institutions, les évolutions technologiques, tout cela est soumis à un constant changement. Les conditions de résilience du passé peuvent ne plus être présentes au futur réduisant par là même la pertinence de ces outils. Il peut s'avérer alors nécessaire d'y inclure des études de prospective, d'établir des scénarii d'évolution et de déterminer pour chaque scénario quelles sont les caractéristiques et capacités les plus à même de développer de la résilience. Ces scénarii peuvent ensuite être testés à l'épreuve du réel à mesure que des changements prévus ou imprévus opèrent. (Levine, 2014) La prospective et la prévision sont des éléments fondamentaux du vivant dans son adaptation constante au réel. En effet, la capacité d'anticipation est présente chez tous les animaux et est un guide d'action irremplaçable dès qu'on se place un peu plus loin que la simple réaction instinctive. L'être humain en est le mieux doté. Il serait donc logique d'exploiter au mieux cette capacité pour se projeter dans des futurs possibles, faire jouer des scénarii concurrents, conduire des simulations et en retirer des enseignements. Les outils gagneraient à être davantage tournés vers le futur que vers le passé quitte à prendre le risque de se tromper.

5.3 L'approche biomimétique

Devant ces grands défis posés par la résilience, d'autres voies peuvent être explorées. L'une des plus originales et potentiellement des plus prometteuses est la voie du biomimétisme. Le biomimétisme est une approche qui s'inspire du vivant pour l'appliquer à résoudre des problèmes contemporains. La démarche part du principe que la vie est le phénomène le plus résilient qui soit puisqu'il est présent depuis 3,8 milliards d'années. De plus, durant les millions d'années évolution que des organismes de toute sorte ont subis, l'évolution a permis de sélectionner des solutions optimales et originales aux problèmes rencontrés, les moins bonnes étant éliminées par le processus de sélection. Le biomimétisme a déjà des applications dans des domaines variés comme l'agriculture, l'architecture, la médecine ou la science des matériaux pour n'en citer que quelques-uns. (The Biomimicry Institute, s.d.)

De récentes études se penchent sur le biomimétisme dans la problématique de la planification urbaine. Cette nouvelle approche permet d'élargir l'horizon des possibles en décroissant la pensée et en permettant à des solutions originales d'émerger (Buck, 2015). Comparativement à une approche ingénieure classique, le biomimétisme favorise une plus grande créativité et une plus grande diversité de designs (Wilson et al., 2010). Elle conduit également à repenser la conception des infrastructures et à

envisager le passage d'une approche basée sur la robustesse et la monofonctionnalité à une approche basée sur la flexibilité et la plurifonctionnalité comme cela a été constaté dans certains projets de lutte contre les inondations (Matczak et al., 2015). L'adoption de l'approche biomimétique conduit à créer des infrastructures urbaines plus flexibles et plus adaptables et à encourager l'approche de la ville comme un métabolisme urbain qu'il s'agit d'analyser à travers tous ses composants de manière interdisciplinaire (Broto et al., 2012). Par son aspect holistique, le biomimétisme favorise naturellement une approche adaptative et résiliente de la planification urbaine (Snellen, 2019; Zari, 2018). En effet, adopter une vision biomimétique encourage à considérer la ville sous son aspect complexe composé de systèmes et de sous-systèmes en interaction sur plusieurs échelles. Les planificateurs urbains sont alors plus encouragés à considérer les impacts de leurs actions aussi bien sur une échelle micro que macro. Ils sont également plus à même d'élargir leur horizon temporel et de moins favoriser les solutions de court terme. (Snellen, 2019)

L'approche biomimétique permet également de faire se rencontrer les disciplines. Les ingénieurs se retrouvent à parler avec les biologistes et vice versa et ces derniers se trouvent intégrés aux équipes de planification urbaine (Wootton-Beard et al., 2016). Cela encourage l'interdisciplinarité qui, à son tour, encourage l'innovation. Cela permet aussi d'unifier les équipes autour d'un projet et d'une vision commune et de réduire les tensions ou incompréhensions qui peuvent résulter de la composition multidisciplinaire de ces équipes. Le biomimétisme devenant en quelque sorte un point de rencontre et un cadre commun de travail et d'inspiration où chacun peut contribuer, cela réduit le risque de conflit. (Baumeister et al., 2014; Buck, 2015)

Plus largement, le biomimétisme ne consiste pas seulement à s'inspirer de solutions rencontrées dans la nature de manière isolée, mais de s'en inspirer de manière globale. Ainsi le fonctionnement de la ville et de ses infrastructures repose sur un apport continu de matière et d'énergie et sur une maintenance constante tout en produisant des déchets non utilisables. La nature de son côté, recycle perpétuellement ses ressources, les réinjecte dans son cycle et se répare elle-même sans avoir besoin de maintenance extérieure. (Quinn et Gaughran, 2010) C'est en se basant sur ce constat que le courant du développement régénératif ou de la durabilité régénérative entend se placer pour compléter la pensée résiliente (Holden et al., 2016), un courant issu lui-même des principes de base du biomimétisme. Le développement régénératif veut émuler cette capacité qu'à la vie de produire et de maintenir elle-même ses propres conditions d'existence. Concrètement cela revient à redonner à la nature au moins sinon plus que ce qu'on en extrait (Buck, 2015; Holden et al., 2016). Appliqué à l'urbanisme, cela veut dire une ville autosuffisante produisant sa propre nourriture tout en nourrissant et en rendant au sol les constituants naturels qui ont

permis la production de nourriture (Singh-Peterson et al., 2014). Cela veut dire une ville qui purifie son air et son eau au lieu de les souiller pour ensuite les traiter chimiquement comme l'exemple de l'intégration d'algues dans les constructions le permet (Biloria et Thakkar, 2020; Marani, 2018). Une ville qui produit ses propres matériaux à des conditions de température et de pression ambiantes. Cela implique de privilégier des solutions simples et durables à l'image des low-tech. Plus largement, cela nécessite un changement du paradigme actuel qui continue à considérer l'humain comme séparé de la nature et dont les villes sont l'incarnation: des organismes artificiels séparés de la nature qui ont besoin d'un apport continu de ressources pour maintenir cette séparation (Singhal et al., s.d.). Le biomimétisme a le potentiel de changer la conception qu'on se fait de ce que doit être une ville et de ses constituants (Baumeister et al., 2014; Buck, 2015) et également d'accepter la nature complexe et non linéaire du monde qui ne se prête pas toujours à une planification entièrement rationnelle sur le modèle mécanique. Là se trouve un des principaux défis de l'approche inspirée du vivant, à savoir la difficulté d'établir des liens de cause à effet clairs et facilement compréhensibles par les parties prenantes sur lesquels baser une planification. Il s'ensuit que l'aversion au risque décourage d'adopter une approche non conventionnelle comme celle-ci. Un deuxième défi est le coût et la rentabilité associés. L'approche du vivant favorise des bénéfices qualitatifs à long terme en matière de conditions de vie, de résilience et de durabilité, mais ces bénéfices ne se traduisent que rarement en bénéfices financiers à court terme ce qui est un frein à leur adoption. (Buck, 2015; Oguntona et Aigbavboa, 2019)

La vision du vivant peut donc favorablement compléter ou régénérer la pensée sur la résilience, car la nature est constamment dans une dynamique de non-équilibre à l'interface de plusieurs attracteurs. Or l'adaptabilité et la transformabilité, deux qualités essentielles de la résilience, sont maximisées dans les états de non-équilibre quand un système s'autoorganise au bord du chaos. (Anderson, 1999; S. L. Brown et Eisenhardt, 1998) Cela est justement le cas des systèmes vivants et des écosystèmes naturels qui acceptent de perdre certaines de leurs fonctions ou de leurs constituants pour en gagner d'autres. Leur résilience de long terme est donc moins basée sur la résistance que sur le changement. Or comme il a été constaté, les outils actuels de mesure de la résilience favorisent souvent la résistance au changement, en partie parce qu'il est plus facile de mesurer la première que la seconde.

Finalement, les principaux points soulevés dans ce chapitre peuvent se résumer comme suit :

- les outils de mesure de la résilience affichent une grande diversité.
- cette diversité est le reflet de celle caractérisant le concept même de résilience,
- en conséquence, les outils ne mesurent pas directement la résilience ,

- ils doivent passer par des proxys rendant plus ou moins compte de la résilience,
- la mesurabilité même de la résilience fait l'objet de discussion et n'est pas tranchée,
- se tourner vers d'autres approches peut alors se révéler avantageux pour régénérer la réflexion et explorer de nouvelles pistes.

De ces points, il est possible de déduire les recommandations suivantes :

- Développer une connaissance intime des réalités locales et de ses besoins ainsi que de ses capacités propres d'analyse pour choisir l'outil le plus adapté.
- Distinguer clairement les outils réflexifs qui font le diagnostic d'une situation des outils guides qui proposent un suivi.
- Garder une distance critique par rapport aux résultats des outils et ne pas craindre de s'en écarter au besoin. Ne pas se baser sur les seuls outils pour mener une politique de résilience.
- Suivre d'autres voies en parallèle comme la prospective et simuler le comportement de la ville dans des scénarii différents de probabilités d'occurrence variables.
- Aller au-delà du paradigme de la mesure en explorant l'apport d'autres disciplines extérieures au thème de la résilience.

CONCLUSION

La question de recherche que cet essai s'est donné à explorer consistait à évaluer dans quelle mesure les outils de la résilience urbaine en permettent une évaluation correcte. Pour cela il a été nécessaire de franchir plusieurs étapes allant des racines étymologiques du mot aux dernières recherches dans le domaine.

Le premier chapitre a interrogé l'origine et l'évolution du concept de résilience en remontant à ses racines latines et en suivant son adoption successive par diverses disciplines. Ces dernières ont enrichi le concept d'apports de complexité croissante, apports qui ont été facilités par la relative polysémie de sa racine étymologique. La science des matériaux en a d'abord fait un concept statique adapté à ses besoins, concept qui a débouché sur la résilience d'ingénieur. La médecine et la psychologie l'ont ensuite emprunté et y ont introduit de la flexibilité. Le grand tournant fut néanmoins son adoption par la science des écosystèmes qui y a introduit de nombreuses nouveautés issues de l'étude des systèmes complexes : interactions multiéchelles, équilibres dynamiques, effets de seuils et transformabilité. À partir de là son champ d'adoption s'est élargi pour toucher les systèmes socioécologiques. La résilience est devenue un paradigme incontournable pour penser le changement et l'adaptation y compris des sociétés humaines. Le chapitre conclut en constatant la diversité d'approches qui coexistent et sont utilisées en même temps.

Le deuxième chapitre bâtit sur les apports du premier et explore l'application du concept de résilience dans le domaine urbain. Il pointe tout d'abord les difficultés rencontrées. Des difficultés qui résultent de la complexité inhérente des villes et des processus qui s'y déploient et qui ne rendent pas facile l'adoption d'un cadre d'analyse. La polysémie de la résilience constatée au premier chapitre complique également la tâche. L'adoption du cadre socioécologique pour penser la résilience dans les villes n'aplanit pas les difficultés pratiques. La deuxième partie du chapitre explicite les différentes fractures traversées par le concept de résilience urbaine y compris considérée au sein d'un cadre unique. Le chapitre conclut néanmoins sur une définition générale et englobante qui a vocation à résoudre les insuffisances constatées.

Le troisième chapitre aborde la présentation de quelques outils de mesure. Pour ce faire, il rappelle les principales fonctions et caractéristiques d'un indicateur et son inclusion dans la structure générale d'un outil de mesure. Il détermine ensuite par une revue de littérature les principales caractéristiques recherchées dans la résilience urbaine et l'agencement habituel des données au sein de dimensions. Quatre outils sont alors présentés appartenant aux deux grandes catégories rencontrées dans la littérature : la résilience aux désastres et la résilience générale. Les outils affichent comme attendu une

présentation similaire en dimensions, indicateurs et sous-indicateurs. Ils sont d'abord introduits par un bref historique et une présentation de leurs caractéristiques principales et secondaires. Leurs dimensions sont ensuite explicitées ainsi que leurs indicateurs. Au besoin et pour ne pas surcharger le propos eu égard au grand nombre d'indicateurs, seule une sélection en est introduite, sélection représentative du type de données collectées.

Le chapitre quatre conduit l'évaluation des outils. Dans un premier temps, la méthodologie et les critères d'évaluation sont fixés ainsi que la justification du choix de ces critères. L'évaluation se fait de façon qualitative et comparative et un tableau synthétique en est déduit. La deuxième partie du chapitre s'attache à revenir, pour chacun des outils, sur la justification des résultats présentés dans le tableau synthétique.

Le chapitre cinq revient sur les résultats de l'évaluation et en fait l'analyse en vue de répondre à la question de recherche qui est de déterminer jusqu'à quel point les outils évalués mesurent véritablement la résilience urbaine. Il commence par constater la diversité des outils non seulement dans leur contenu, mais surtout dans les principes implicites auxquels ils se réfèrent. L'analyse relie ces différences à celles constatées aux deux premiers chapitres concernant le concept de résilience et son application aux villes. Il en ressort qu'il n'y pas qu'un seul type de résilience à mesurer et que chaque outil se révèle être comme un hybride à la frontière entre plusieurs paradigmes de résilience. De plus, les outils partagent certaines insuffisances communes qui rendent la réponse à la question d'autant plus complexe. Le résultat est donc qu'il n'y a pas de réponse oui/non à cette question et qu'il n'y a pas non plus de gradation claire à introduire (si un outil est mieux qu'un autre). Les outils ne sont en effet pas sur un même plan et il n'est pas aisé de les classer vu les paradigmes différents de la résilience auxquelles ils sont implicitement liés. Cela peut être interprété comme un signe de l'immaturité actuelle du domaine et de la nécessité de recherches supplémentaires. Cela peut également être interprété comme l'impossibilité que la résilience se prête à la mesure et à la nécessité d'aller au-delà de ce genre d'effort. Une série de recommandations en est déduite qui se résument principalement en la prise de distance critique par rapport aux outils, la connaissance intime du cadre local et le retour régulier d'expérience ainsi que l'exploration d'autres paradigmes pour ouvrir des voies nouvelles. À ce titre, l'approche biomimétique peut insuffler un renouveau dans la manière d'aborder et de pratiquer la résilience en débloquent des chemins de pensée encore inexplorés.

LISTE DES RÉFÉRENCES

- Ahsan, S. M. M. (2013). Resilient Cities for the Poor or by the Poor? https://www.urbanmanagement.tu-berlin.de/fileadmin/f6_urbanmanagement/Study_Course/student_work/Thesis_Ahsan_Resilient_Cities_for_the_Poor_or_by_the_Poor.pdf
- Alexander, D. E. (2013). Resilience and disaster risk reduction: an etymological journey. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(11), 2707-2716.
- Allan, P. et Bryant, M. (2011). Resilience as a framework for urbanism and recovery. *Journal of Landscape Architecture*, 6(2), 34-45. <https://doi.org/10.1080/18626033.2011.9723453>
- Anderson, P. (1999). Perspective: Complexity Theory and Organization Science. *Organization Science*, 10(3), 216-232. <https://doi.org/10.1287/orsc.10.3.216>
- Arup. (2014). City Resilience Index Research Report Volume 1 Desk Study (p. 156). https://www.arup.com/-/media/arup/files/pdf-downloads/cri_research_report_vol1.pdf
- Bacon, F. (1627). *Sylva sylvarum, or, A natural history in ten centuries* [pdf]. Library of Congress, Washington, D.C. 20540 USA. <https://www.loc.gov/item/95202443/>
- Batty, M. (2005). *Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent- Based Models, and Fractals*. Batty, M. (2005) *Cities and complexity: understanding cities with cellular automata, agent-based models, and fractals*. The MIT Press, Cambridge, USA. ISBN 9780262025836.
- Batty, M. et Marshall, S. (2009). Centenary paper: The evolution of cities: Geddes, Abercrombie and the new physicalism. *Town Planning Review*, 80(6), 551-574.
- Baumeister, D., Tocke, R., Dwyer, J., Ritter, S. et Benyus, J. M. (2014). *Biomimicry resource handbook: a seed bank of best practices*.
- BBC News. (2013, 6 février). Stafford Hospital: The victims of the hospital scandal. BBC News. <https://www.bbc.com/news/uk-england-stoke-staffordshire-21339330>
- Beatley, T. (2014). Planning for Resilient Coastal Communities: Emerging Practice and Future Directions (p. 123-144).
- Berkes, F., Folke, C. et Colding, J. (2000). *Linking Social and Ecological Systems: Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience*. Cambridge University Press.
- Bertalanffy, L. von. (1968). *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. G. Braziller.
- Bettencourt, L. (2013). The Origins of Scaling in Cities. *Science (New York, N.Y.)*, 340, 1438-1441.
- Bettencourt, L., Lobo, J., Helbing, D., Kühnert, C. et West, G. B. (2007). Growth, innovation, scaling, and the pace of life in cities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(17), 7301-7306.
- Biloria, N. et Thakkar, Y. (2020). Integrating algae building technology in the built environment: A cost and benefit perspective. *Frontiers of Architectural Research*, 9(2), 370-384.

- Broto, V. C., Allen, A. et Rapoport, E. (2012). Interdisciplinary Perspectives on Urban Metabolism. *Journal of Industrial Ecology*, 16(6), 851-861. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00556.x>
- Brown, C., Shaker, R. et Gorgolewski, M. (2016). Urban resilience in Canada: Research priorities and best practices for climate resilience in cities.
- Brown, S. L. et Eisenhardt, K. M. (1998). *Competing on the Edge: Strategy as Structured Chaos*. Harvard Business Press.
- Buck, N. (2015). The Art of Imitating Life: The Potential Contribution of Biomimicry in Shaping the Future of Our Cities. *Environment and Planning B Planning and Design*, In Press.
- Cannon, Walter B. (1926). Physiological regulation of normal states: some tentative postulates concerning biological homeostatics.
- Cannon, W.B. (1932). *The wisdom of the body*, 2nd ed. Norton & Co.
- Carpenter, S. R., Arrow, K. J., Barrett, S., Biggs, R., Brock, W. A., Crépin, A.-S., Engström, G., Folke, C., Hughes, T. P., Kautsky, N., Li, C.-Z., McCarney, G., Meng, K., Mäler, K.-G., Polasky, S., Scheffer, M., Shogren, J., Sterner, T., Vincent, J. R., ... Zeeuw, A. D. (2012). General Resilience to Cope with Extreme Events. *Sustainability*, 4(12), 3248-3259.
- Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J. M. et Abel, N. (2001). From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What? *Ecosystems*, 4(8), 765-781.
- Carricart, A. (2020). Le biomimétisme et le bâtiment – OBIOSE Ingénierie – Durablement conforme. <https://www.obiose.com/le-biomimetisme-et-le-batiment.html>
- Carson, J. (1820). III. On the elasticity of the lungs. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 110, 29-44.
- Chabard, P. (2012). Patrick Geddes and cities in evolution: The writing and the readings of an intempestive classic, 149-162.
- Chelleri, L. et Baravikova, A. (2021). Understandings of urban resilience meanings and principles across Europe. *Cities*, 108, 102985.
- Chester, M., Grimm, N. B., Redman, C., Miller, T., McPherson, T., Munoz-Erickson, T. et Chandler, D. G. (2015). Developing a concept of social-ecological-technological systems to characterize resilience of urban areas and infrastructure to extreme events. *AGU Fall Meeting Abstracts*, 23, H23M-02.
- Chevalier, A. (2019, 15 avril). Au revoir développement durable, bonjour résilience urbaine. *Le Devoir*. <https://www.ledevoir.com/societe/transports-urbanisme/552165/au-revoir-developpement-durable-bonjour-resilience-urbaine>
- Coaffee, J., Therrien, M.-C., Chelleri, L., Henstra, D., Aldrich, D. P., Mitchell, C. L., Tsenkova, S., Rigaud, É. et the participants. (2018). Urban resilience implementation: A policy challenge and research agenda for the 21st century. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 26(3), 403-410.

- Coaffee, Jon. (2013). Towards Next-Generation Urban Resilience in Planning Practice: From Securitization to Integrated Place Making. *Planning Practice & Research*, 28(3), 323-339.
<https://doi.org/10.1080/02697459.2013.787693>
- Constas, M., Upton, J., Knippenberg, E. et Downie, K. (2016b). Classification of Indicators for Resilience Analysis; 28.
- Cote, M. et Nightingale, A. J. (2012). Resilience thinking meets social theory: Situating social change in socio-ecological systems (SES) research. *Progress in Human Geography*, 36(4), 475-489.
- Cresswell, I. et Murphy, H. (2016). Factors affecting resilience capacity [text]. Australia State of the Environment Report. Australia State of the Environment Report.
<https://soe.environment.gov.au/theme/biodiversity/topic/2016/factors-affecting-resilience-capacity>
- Cutter, S., Ash, K. et Emrich, C. (2014). The geographies of community disaster resilience. *Global Environmental Change*, 29, 65-77.
- Cutter, S., Burton, C. et Emrich, C. (2010a). Disaster Resilience Indicators for Benchmarking Baseline Conditions. *Journal of Homeland Security and Emergency Management - J HOMEL SECUR EMERG MANAG*, 7. <https://doi.org/10.2202/1547-7355.1732>
- Cutter, S., Burton, C. et Emrich, C. (2010b). Disaster Resilience Indicators for Benchmarking Baseline Conditions. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 7(1).
<https://www.degruyter.com/view/journals/jhsem/7/1/article-jhsem.2010.7.1.1732.xml.xml>
- Davies, K. J. A. (2016). Adaptive homeostasis. *Molecular Aspects of Medicine*, 49, 1-7.
- de Vos, A., Biggs, R. et Preiser, R. (2019). Methods for understanding social-ecological systems: a review of place-based studies. *Ecology and Society*, 24(4).
<https://www.ecologyandsociety.org/vol24/iss4/art16/#conclu>
- Du Plessis, C. (2008). Understanding cities as social-ecological systems.
<https://researchspace.csir.co.za/dspace/handle/10204/3306>
- Edgemon, L., Freeman, C., Burdi, C., Trail, J., Marsh, K. et Pfeiffer, K. (2018). Community Resilience Indicator Analysis: County-Level Analysis of Commonly Used Indicators From Peer-Reviewed Research.
- Elmqvist, T., Andersson, E., Frantzeskaki, N., McPhearson, T., Olsson, P., Gaffney, O., Takeuchi, K. et Folke, C. (2019). Sustainability and resilience for transformation in the urban century. *Nature Sustainability*, 2(4), 267-273.
- FAO. (2020). Core Indicators for Resilience Analysis: Toward an Integrated Framework to Support Harmonized Metrics, 29.
- Ferrari, M. (2020). Reflexive Governance for Infrastructure Resilience and Sustainability. *Sustainability*, 12(23), 10224.

- Figueiredo, L., Honiden, T. et Schumann, A. (2018). Indicators for Resilient Cities. https://www.oecd-ilibrary.org/development/indicators-for-resilient-cities_6f1f6065-en;jsessionid=MzxYv7zClcXAmzHuPVZ21d9l.ip-10-240-5-141
- Folke, C., Biggs, R., Norström, A., Reyers, B. et Rockström, J. (2016). Social-ecological resilience and biosphere-based sustainability science. *Ecology and Society*, 21(3). <https://www.ecologyandsociety.org/vol21/iss3/art41/>
- Frank, B., Delano, D. et Caniglia, B. S. (2017). Urban systems: a socio–ecological system perspective. *Sociology International Journal*, Volume 1(Issue 1). <https://medcraveonline.com/SIJ/SIJ-01-00001.pdf>
- Fraser, E., Mabee, W. et Figge, F. (2005). A Framework for Assessing the Vulnerability of Food Systems to Future Shocks. *Futures*, 37, 465-479.
- Gaffiot, F. (1934). *Gaffiot - Dictionnaire Latin-Français - (1934) version numérisée* Komarov 2016. <http://archive.org/details/gaffiotdictionnairelatinfrançais1934versionnumeriseekomarov2016>
- Geddes, S. P. (1915). *Cities in evolution: an introduction to the town planning movement and to the study of civics*. Williams.
- Godschalk, D. R. (2003). Urban Hazard Mitigation: Creating Resilient Cities. *Natural Hazards Review*, 4(3), 136-143. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2003\)4:3\(136\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2003)4:3(136))
- Gonçalves, A. (2018, 31 octobre). World Cities Day - Why Do We Need Resilient Cities? Youmatter. <https://youmatter.world/en/world-cities-day-2018-why-do-we-need-resilient-cities/>
- Grönlund, E., Fröling, M. et Skytt, T. (2016). Energy, Emergy, and the City.
- Heinzlef, C. et Serre, D. (2020). Urban resilience: From a limited urban engineering vision to a more global comprehensive and long-term implementation. *Water Security*, 11, 100075.
- Heycox, J. (2007). Integrating Data for Sustainable Development: Introducing the Distribution of Resources Framework (p. 191-212). <https://doi.org/10.1002/9780470515600.ch11>
- Holden, M., Robinson, J. et Sheppard, S. (2016). From Resilience to Transformation Via a Regenerative Sustainability Development Path (p. 295-319). https://doi.org/10.1007/978-3-319-39812-9_15
- Holling, C. S. (1973). Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4(1), 1-23.
- Hollnagel, E. (2016). Resilience Engineering. <https://erikhollnagel.com/ideas/resilience-engineering.html>
- Holly Purcell, P. et UN-Habitat. (2015). Local Government Pocket Guide to Resilience | UN-Habitat. <https://unhabitat.org/local-government-pocket-guide-to-resilience>
- IGI Global. (s.d.). What is Resourcefulness and Resilience | IGI Global. <https://www.igi-global.com/dictionary/resourcefulness-and-resilience/72727>
- Jacobs, J. (1961). *The death and life of great American cities*.

- Jarvie, J. (2015, 8 février). City Resilience Framework Research Report - Volume 3: Urban Measurement [text]. ACCCRN. <https://www.acccrn.net/resources/city-resilience-framework-research-report-volume-3-urban-measurement>
- Jones, L. (2019). Resilience isn't the same for all: Comparing subjective and objective approaches to resilience measurement. *WIREs Climate Change*, 10(1), e552.
- Jones, L. et Tanner, T. (2015). Measuring subjective resilience: using people's perceptions to quantify household resilience. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2438.1289>
- Joseph, J. (2013). Resilience as embedded neoliberalism: a governmentality approach. *Resilience*, 1(1), 38-52. <https://doi.org/10.1080/21693293.2013.765741>
- Keuschnigg, M. (2019). Scaling trajectories of cities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(28), 13759-13761. <https://doi.org/10.1073/pnas.1906258116>
- Khazai, Bendimerad, F. et Cardona, O. (2015). A guide to measuring urban risk resilience : Principles, tools and practice of urban indicators. Earthquakes and Megacities Initiative. http://emi-megacities.org/wp-content/uploads/2015/03/ResilienceIndicators_Pre-release_March20151.pdf
- Khazai, Bendimerad, F. et Wenzel, F. (2011). Resilience Indicators for Mainstreaming Disaster Risk Reduction in the City of Mumbai. *Geophysical Research Abstracts*, 13, 1.
- Kim, D. et Lim, U. (2016). Urban Resilience in Climate Change Adaptation: A Conceptual Framework. *Sustainability*, 8(4), 405. <https://doi.org/10.3390/su8040405>
- Levine, S. (2014). Assessing resilience: why quantification misses the point. ODI. <https://www.odi.org/publications/8545-assessing-resilience-why-quantification-misses-point>
- Lisa, E., Schipper, F. et Langston, L. (2015). A comparative overview of resilience measurement frameworks, 30.
- Lizarralde, G., Bornstein, L., Labbé, D., Thomas, I., Davidson, C., Gould, K. et Bryant, C. (2017). Une analyse critique des cadres théoriques. Dans *La ville résiliente: comment la construire?* (p. 53-67). Les Presses de l'université de Montréal.
- Lydenberg, S., Rogers, J. et Wood, D. (2010). From Transparency to Performance: Industry-Based Sustainability Reporting on Key Issues. <https://iri.hks.harvard.edu/links/transparency-performance-industry-based-sustainability-reporting-key-issues>
- Mackinnon, D. et Derickson, K. (2013). From Resilience to Resourcefulness: A Critique of Resilience Policy and Activism. *Progress in Human Geography*, 37.
- Madlener, R. et Sunak, Y. (2011). Impacts of urbanization on urban structures and energy demand: What can we learn for urban energy planning and urbanization management? *Sustainable Cities and Society*, 1(1), 45-53.
- Manciaux, M. (2001). La résilience. *Etudes*, Tome 395(10), 321-330.

- Marani, M. (2018, 10 décembre). This algae facade curtain naturally filters polluted air. The Architect's Newspaper. <https://www.archpaper.com/2018/12/this-algae-facade-curtain-naturally-filters-polluted-air/>
- Matczak, P., Lewandowski, J., Choryński, A., Szwed, M. et Kundzewicz, Z. W. (2015, 11 juin). Flood risk governance arrangements in Europe. Extreme Hydrological Events - IAHS-IACS-IAIG Joint Symposium JH1, 26th General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics, Prague, Czech Republic, 22 June–2 July 2015 (vol. 369, p. 195-199). <https://piahs.copernicus.org/articles/369/195/2015/>
- Maxwell, D., Constanas, M., Frankenberger, T., Klaus, T. et Mock, M. (2015). Qualitative Data and Subjective Indicators for Resilience Measurement | Food Security and Nutrition Network ([4]). : http://www.fsincop.net/fileadmin/user_upload/fsin/docs/resources/FSIN_TechnicalSeries_4.pdf
- McKinsey Global Institute. (2011). Urban world: Mapping the economic power of cities | McKinsey. <https://www.mckinsey.com/featured-insights/urbanization/urban-world-mapping-the-economic-power-of-cities>
- McLellan, B., Zhang, Q., Farzaneh, H., Utama, N. A. et Ishihara, K. N. (2012). Resilience, Sustainability and Risk Management: A Focus on Energy. *Challenges*, 3(2), 153-182. <https://doi.org/10.3390/challe3020153>
- McPhearson, T. (2014, 8 juin). The Rise of Resilience: Linking Resilience and Sustainability in City Planning. *The Nature of Cities*. <https://www.thenatureofcities.com/2014/06/08/the-rise-of-resilience-linking-resilience-and-sustainability-in-city-planning/>
- Meerow, S., Newell, J. P. et Stults, M. (2016). Defining urban resilience: A review. *Landscape and Urban Planning*, 147, 38-49.
- Meerow, S. et Stults, M. (2016). Comparing Conceptualizations of Urban Climate Resilience in Theory and Practice. *Sustainability*, 8(7), 701. <https://doi.org/10.3390/su8070701>
- Nguyen, H. L. et Akerkar, R. (2020). Modelling, Measuring, and Visualising Community Resilience: A Systematic Review. *Sustainability*, 12, 7896.
- Odum, E. P. (1975). *Ecology, the Link Between the Natural and the Social Sciences*. Holt, Rinehart and Winston.
- Odum, E. P. et Odum, H. T. (1959). *Fundamentals of Ecology*. Saunders.
- OECD. (s.d.). Resilient Cities - OCDE. <https://www.oecd.org/fr/regional/resilient-cities.htm>
- Oguntona, O. A. et Aigbavboa, C. O. (2017). Biomimetic reinvention of the construction industry: energy management and sustainability. *Energy Procedia*, 142, 2721-2727.
- Oguntona, O. A. et Aigbavboa, C. O. (2019). Barriers Militating Against the Adoption of Biomimicry as a Sustainable Construction Practice. *MATEC Web of Conferences*, 266, 03010.

- Okwir, S., Nudurupati, S., Ginieis, M. et Angelis, J. (2018). Performance Measurement and Management Systems: A Perspective from Complexity Theory. *International Journal of Management Reviews*, 20.
- Pike, A., Dawley, S. et Tomaney, J. (2010). Resilience, Adaptation and Adaptability. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 3, 59-70.
- Pimm, S. L. (1984). The complexity and stability of ecosystems. *Nature*, 307(5949), 321-326.
- Quinn, S. et Gaughran, W. (2010). Bionics—An inspiration for intelligent manufacturing and engineering. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 26(6), 616-621.
- Ribeiro, P. J. G. et Pena Jardim Gonçalves, L. A. (2019). Urban resilience: A conceptual framework. *Sustainable Cities and Society*, 50, 101625.
- Romero-Lankao, P. et Gnatz, D. M. (2013). Exploring urban transformations in Latin America. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(3), 358-367.
- Scherzer, S., Lujala, P. et Rød, J. K. (2019). A community resilience index for Norway: An adaptation of the Baseline Resilience Indicators for Communities (BRIC). *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 36, 101107.
- Shamsuddin, S. (2020). Resilience resistance: The challenges and implications of urban resilience implementation. *Cities*, 103, 102763.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27(3), 379-423.
- Sharifi, A. (2020). Urban Resilience Assessment: Mapping Knowledge Structure and Trends. *Sustainability*, 12, 5918.
- Singhal, A., Bidwell, D. et Miller, J. (s.d.). Urban resilience, inspired by nature. *BIOMIMICRY FRONTIERS*. <https://biomimicryfrontiers.com/blog/-/hw7msmdcy62anpe760u968buddhrdi>
- Singh-Peterson, L., Salmon, P., Goode, N. et Gallina, J. (2014). Translation and evaluation of the Baseline Resilience Indicators for Communities on the Sunshine Coast, Queensland Australia. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 10, 116-126.
- Smit, B. et Wandel, J. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 282-292.
- Snellen, B. (2019). Reconnect to our life-giving systems : the potential of biomimicry for urban planning | Titel. <https://library.wur.nl/WebQuery/titel/2282410>
- Spaans, M. et Waterhout, B. (2017). Building up resilience in cities worldwide – Rotterdam as participant in the 100 Resilient Cities Programme. *Cities*, 61, 109-116.
- Tanner, T., Bahadur, A. et Moench, M. (2017). Challenges for resilience policy and practice, 25.
- The Biomimicry Institute. (s.d.). The Biomimicry Institute — Nature-Inspired Innovation. Biomimicry Institute. <https://biomimicry.org/>

- The Rockefeller Foundation. (2015). City Resilience Framework. The Rockefeller Foundation.
<https://www.rockefellerfoundation.org/report/city-resilience-framework/>
- The World Bank. (2019). The World Bank Group's Action Plan on Climate Change Adaptation and Resilience : Managing Risks for a More Resilient Future [text/html]. World Bank.
<https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/519821547481031999/The-World-Bank-Groups-Action-Plan-on-Climate-Change-Adaptation-and-Resilience-Managing-Risks-for-a-More-Resilient-Future>
- Timpane-Padgham, B. L., Beechie, T. et Klinger, T. (2017). A systematic review of ecological attributes that confer resilience to climate change in environmental restoration. PLOS ONE, 12(3), e0173812.
- UN. (2010). Indicators. <https://www.endvawnow.org/en/articles/336-indicators.html>
- United Nations. (2018). World Urbanization Prospects 2018 Highlights.
<https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Highlights.pdf>
- University of South Carolina. (2015). Baseline Resilience Indicators for Communities (BRIC) | Hazards & Vulnerability Research Institute | University of South Carolina.
<https://artsandsciences.sc.edu/geog/hvri/bric>
- Walker, B., Salt, D. et Reid, W. (2006). Resilience Thinking: Sustaining Ecosystems and People in A Changing World. Bibliovault OAI Repository, the University of Chicago Press.
- Walsh-Dilley, M. et Wolford, W. (2015). (Un)Defining resilience: subjective understandings of 'resilience' from the field. Resilience, 3(3), 173-182.
- Wang, Y., Shen, J., Xiang, W. et Wang, J.-Q. (2018). Identifying characteristics of resilient urban communities through a case study method. Journal of Urban Management, 7(3), 141-151.
- Wiener, N. (1948). Cybernetics; Or, Control and Communication in the Animal and the Machine. Technology Press.
- Wilson, J. O., Rosen, D., Nelson, B. A. et Yen, J. (2010). The effects of biological examples in idea generation. Design Studies, 31(2), 169-186.
- Wootton-Beard, P., Xing, Y., Raghavalu Thirumalai, D. P., Robson, P., Bosch, M., Thornton, J., Ormondroyd, G., Jones, P. et Donnison, I. (2016). Review: Improving the Impact of Plant Science on Urban Planning and Design. Buildings, 6, 48.
- Wu, J. et Wu, T. (2013). Ecological Resilience as a Foundation for Urban Design and Sustainability. Dans Resilience in Ecology and Urban Design (p. 211-230). https://doi.org/10.1007/978-94-007-5341-9_10
- Young, T. (1807). A course of lectures on natural philosophy and the mechanical arts. London : Printed for J. Johnson. <http://archive.org/details/lecturescourseof02younrich>
- Zari, P. (2018). Regenerative Urban Design and Ecosystem Biomimicry. Routledge & CRC Press.
<https://www.routledge.com/Regenerative-Urban-Design-and-Ecosystem-Biomimicry/Zari/p/book/9780367855826>

Zhou, C. (2020, 8 octobre). Lessons from Africa: Building Resilience through Community-Based Health Systems | Wilson Center. <https://www.wilsoncenter.org/event/lessons-africa-building-resilience-through-community-based-health-systems>

ANNEXE 1 : DEFINITIONS DE LA RESILIENCE URBAINE (MEEROW ET AL., 2016)

Author (year)	Subject area	Citation count	Definition
1 Alberti et al. (2003)	Agricultural and biological sciences; environmental science	212	"... the degree to which cities tolerate alteration before reorganizing around a new set of structures and processes" (p. 1170).
2 Godschalk (2003)	Engineering	113	"... a sustainable network of physical systems and human communities" (p. 137).
3 Pickett et al. (2004)	Agricultural and biological sciences; environmental science	101	"... the ability of a system to adjust in the face of changing conditions" (p. 373).
4 Ernstson et al. (2010)	Environmental science; social sciences	46	"To sustain a certain dynamic regime, urban governance also needs to build transformative capacity to face uncertainty and change" (p. 533).
5 Campanella (2006)	Social sciences	44	"... the capacity of a city to rebound from destruction" (p. 141).
6 Wardekker et al. (2010)	Business management and accounting; psychology	30	"... a system that can tolerate disturbances (events and trends) through characteristics or measures that limit their impacts, by reducing or counteracting the damage and disruption, and allow the system to respond, recover, and adapt quickly to such disturbances" (p. 988).
7 Ahern (2011)	Environmental science	24	"... the capacity of systems to reorganize and recover from change and disturbance without changing to other states ... systems that are "safe to fail" (p. 341).
8 Leichenko (2011)	Environmental science; social sciences	20	"... the ability ... to withstand a wide array of shocks and stresses" (p. 164).
9 Tyler and Moench (2012)	Environmental science; social sciences	11	"... encourages practitioners to consider innovation and change to mayaid recovery from stresses and shocks that or may not be predictable" (p. 312).
10 Liao (2012)	Environmental science	6	"... the capacity of the city to tolerate flooding and to reorganize should physical damage and socioeconomic disruption occur, so as to prevent deaths and injuries and maintain current socioeconomic identity" (p. 5).
11 Brown et al. (2012)	Environmental science; social sciences	5	"... the capacity ... to dynamically and effectively respond to shifting climate circumstances while continuing to function at an acceptable level. This definition includes the ability to resist or withstand impacts, as well as the ability to recover and re-organize in order to

establish the necessary functionality to prevent catastrophic failure at a minimum and the ability to thrive at best” (p. 534).

12	Lamond and Proverbs (2009)	Engineering	5	“... encompasses the idea that towns and cities should be able to recover quickly from major and minor disasters” (p. 63).
13	Lhomme et al. (2013)	Earth and planetary sciences	4	“... the ability of a city to absorb disturbance and recover its functions after a disturbance” (p. 222).
14	Wamsler et al. (2013)	Business management and accounting; energy; engineering; environmental science	3	“A disaster resilient city can be understood as a city that has managed... to: (a) reduce or avoid current and future hazards; (b) reduce current and future susceptibility to hazards; (c) establish functioning mechanisms and structures for disaster response; and (d) establish functioning mechanisms and structures for disaster recovery” (p. 71).
15	Chelleri (2012)	Earth and planetary sciences; social sciences	2	“... should be framed within the resilience (system persistence), transition (system incremental change) and transformation (system reconfiguration) views” (p. 287).
16	Hamilton (2009)	Engineering; social sciences	2	“ability to recover and continue to provide their main functions of living, commerce, industry, government and social gathering in the face of calamities and other hazards” (p. 109)
17	Brugmann (2012)	Environmental science; social sciences	1	“the ability of an urban asset, location and/or system to provide predictable performance – benefits and utility and associated rents and other cash flows – under a wide range of circumstances” (p. 217).
18	Coaffee (2013)	Social sciences	1	“... the capacity to withstand and rebound from disruptive challenges ...” (p. 323).
19	Desouza and Flanery (2013)	Business management and accounting; social sciences	1	“ability to absorb, adapt and respond to changes in urban systems” (p. 89).
20	Lu and Stead (2013)	Business management and accounting; social sciences	1	“... the ability of a city to absorb disturbance while maintaining its functions and structures” (p. 200).
21	RomeroLankao and Gnatz (2013)	Environmental science; social sciences	1	“... a capacity of urban populations and systems to endure a wide array of hazards and stresses” (p. 358).
22	Asprone and Latora (2013)	Engineering	0	“... capacity to adapt or respond to unusual often radically destructive events” (p. 4069).

23	Henstra (2012)	Social sciences	0	"A climate-resilient city ... has the capacity to withstand climate change stresses, to respond effectively to climate-related hazards, and to recover quickly from residual negative impacts" (p. 178).
24	Thornbush et al. (2013)	Energy; engineering; social sciences	0	"... a general quality of the city's social, economic, and natural systems to be sufficiently future-proof" (p. 2).
25	Wagner and Breil (2013)	Agricultural and biological sciences	0	"... the general capacity and ability of a community to withstand stress, survive, adapt and bounce back from crisis or disaster and 'rapidly move on'" (p. 114).

ANNEXE 2 : INDICATEURS DU BRIC (ADAPTÉ DE CUTTER ET AL., 2014)

Dimensions	Indicators
Social	<ul style="list-style-type: none"> - Educational attainment, - % of population below 65 years of age, - % of households with at least one vehicle, - % of households with telephone service available, - % of population that are proficient English speakers, - % of population without disabilities, - % of population under age 65 with health insurance, - Mental health support (psychosocial support facilities per 10,000 persons), - Food security rate, - Physicians per 10,000 persons.
Economic	<ul style="list-style-type: none"> - % of owner-occupied housing units, - Employment rate, - Race/ethnicity income equality (negative Gini coefficient), - % of employees not in farming, fishing, forestry, extractive industry, or tourism, - Gender income equality, - Ratio of large to small businesses, - Large retail stores per 10,000 persons, - Federal employment,
Housing and infrastructure	<ul style="list-style-type: none"> - % of housing units that are not manufactured homes, - % of vacant units that are for rent, - Hospital beds per 10,000 persons, - Evacuation routes (major road egress points per 10,000 persons), - % of housing units built prior to 1970 or after 2000, - Hotels/motels per 10,000 persons, - Public schools per 10,000 persons, - Rail miles per square mile, - % of population with access to broadband internet service,
Institutional	<ul style="list-style-type: none"> - Average per capita spending for mitigation projects, - % of housing units covered by National Flood Insurance Program, - Governments and special districts per 10,000 persons, - Presidential disaster declarations per loss-causing hazard event (2000-2009), - % of population in communities with Citizens Corps program, - Proximity of county seat to state capital, - Proximity of county seat to the nearest Metropolitan Statistical Area, - Population change over previous five year period, - % of population within 10 miles of a nuclear power plant, - Crop insurance policies per square mile.
Community Capital	<ul style="list-style-type: none"> - % of population not foreign-born persons who came to U.S. within previous five years, - % of population born in state of current residence, - % of voting age population participating in presidential election, - Persons affiliated with a religious organization per 10,000 persons, - Civic organizations per 10,000 persons, Red cross volunteers per 10,000 persons, - Red cross training workshop participants per 10,000 persons,
Environmental	<ul style="list-style-type: none"> - Farms marketing products through Community Supported Agriculture per 10,000 person, - Natural flood buffers (% of land in wetlands), - Efficient energy use (megawatt hours per energy consumer), - Pervious surfaces (average percent perviousness), - Efficient water use (Inverted water supply stress index)

ANNEXE 3 : INDICATEURS DU FRC (FIGUEIREDO ET AL., 2018)

Aspect	Dimension	Indicator	Type	Justification	Capacities
SOCIAL	Income and inequality "Social inclusion"	Equalised disposable household income (OECD stat)	Outcome Quantitative	Poorer households are more vulnerable to risks. Extensive research over the past 30 years shows that the poor suffer worst from disasters. ¹	Resourceful Inclusive
		Poverty rate (OECD stat)	Outcome Quantitative		
		GINI Index (OECD stat)	Outcome Quantitative	Social inequality translates into unequal access to services and opportunities. Furthermore, it may contribute to socially segregated urban development, which in turn generates new patterns of risk. ²	
		Spatial segregation (Dissimilarity Index, or Spatial Ordinal Entropy Index at a 1 000-metre scale) (OECD stat)	Outcome Quantitative	Spatial segregation has pervasive effects on the income, education and employment perspectives of poor, segregated groups – as found by the neighbourhood effects literature. It further engenders social divides and lack of trust.	
		Number of homeless people per 100 000 population (ISO 37120)	Outcome Quantitative	Homelessness is a risk, in terms of health, education, employment, family structure, safety.	
		Percentage of jobs paying the city/national living wage (adapted from Arup, 2015)	Outcome Quantitative	Living wages ensure the welfare of workers. The indicator shows whether employment provides a path out of poverty.	
	Social capital and social cohesion "Citizens' networks in communities are active"	Number of civic, social advocacy or faith-based organisations per 10 000 people (adapted from Cutter, Ash and Emrich, 2014)	Output Quantitative	Organisational ties promote a sense of belonging, social mobilisation and engagement, and also enhance interpersonal ties (Tran et al., 2013)	Robust Resourceful Inclusive
		Percentage of neighbourhoods with regular neighbourhood association meetings	Output Quantitative	Neighborhood groups increase sense of place and mobilisation levels at the very local scale, as well as local interpersonal ties (Tran et al., 2013)	

Aspect	Dimension	Indicator	Type	Justification	Capacities
SOCIAL		Perceived social network support (percentage people that replied “yes” to the question: If you were in trouble, do you have family and friends you can count on to help in case of need? (OECD stat)	Outcome Quantitative	Social ties matter for higher quality of life, place attachment and higher likelihood to obtain help and support.	
		Perceived interpersonal local network support: % of people that replied “yes” to the question: If you were in trouble, do you have neighbours you can count on to help you whenever you need them? (adapted from OECD stat)	Outcome Quantitative	Local interpersonal ties increase sense of belonging, social cohesion and support at the neighbourhood or community level (Klinenberg, 1999). Estimates show that 90% of people are rescued by neighbours (GFDRR, 2017).	
	Health and well-being	Percentage of population that has health insurance coverage, including both public and private or have access to “free” (at the point of delivery) healthcare (adapted from the University of Buffalo)	Output Quantitative	Access to healthcare.	Robust
	“Citizens enjoy healthy lives”	Self-perception of health % population > 15 years who report “good” or better health to the question “How is your health in general?” with response scale “It is very good/good/fair/bad/very bad” (WHO)	Outcome Quantitative	Overall health state of population. People in worse health are more susceptible to all kinds of shocks and stresses.	
		Average quality of life (satisfaction) (OECD stat)	Outcome Quantitative	Quality of life promotes well-being and is likely to foster aspects such as community cohesion.	
	Medical capacity “People have access to services”	Number of physicians per 100 000 people (ISO 37120)	Output Quantitative	Emergency health needs and overall health service quality.	Robust
		Number of hospital beds per 100 000 people (ISO 37120)	Output Quantitative		Resourceful Flexible
		Percentage of hospitals that have carried out disaster preparedness drills in the last year (adapted from UNISDR, 2008)	Process Quantitative		
	Emergency response services	Average response time of fire response from initial call (ISO 37120)	Outcome Quantitative	Emergency response.	Resourceful Flexible

Aspect	Dimension	Indicator	Type	Justification	Capacities
SOCIAL	“People have access to services”	Average emergency (police) callout response time last year (Arup, 2015)	Outcome Quantitative	Emergency response.	Resourceful Flexible
		Perceptions of local government emergency support (Oxfam)	Outcome Qualitative	Perceived level of response to disaster.	
	Communication “People have access to services”	Number of telephone connections (landlines and cell phones) per 100 000 population (ISO 37120)	Output Quantitative	While some disasters may disrupt telephone and Internet networks (e.g. tropical storms and earthquakes), for many other disasters these systems are not affected and in fact prove to be extremely useful (e.g. heat waves, terror attacks, health epidemics). Broadband networks can also be indicative of economic resilience: notably, highspeed broadband networks are associated with greater levels of economic development in cities (Mölleryd, 2015).	Robust Redundant Inclusive
		Percentage of households with access to broadband Internet service (Cutter, Ash and Emrich, 2014)	Output Quantitative		
		Percentage of population with language competency (or proficiency) (Cutter, Ash and Emrich, 2014)	Outcome Quantitative	Communication capacity, relevant in context of recent and significant migratory flux.	
ECONOMIC	Economic diversity “Industries are diverse to generate growth”	Single-sector economic dependence (% especially primary sector) (Herfindahl Index adapted to sectoral concentration)	Outcome Quantitative	Single sector-dependence increases risk of economic shocks; the primary sector is particularly prone to cyclical fluctuations.	Resourceful
		Reliance on individual firms (Herfindahl Index of firm concentration)	Outcome Quantitative	Firm dependence increases risk of economic shocks	
	Economic innovation “Innovation takes place to the lead economy”	Number of new businesses registered within the city in the past year, per 100 000 population (Case Western Reserve University)	Outcome Quantitative	An environment which supports local business development and innovation provides greater livelihood opportunities for its population and is less reliant on external economic influence.	Resourceful Inclusive Flexible
		Patent applications per million inhabitants (patent intensity, OECD stat)	Outcome, Quantitative		

Aspect	Dimension	Indicator	Type	Justification	Capacities
ECONOMIC	Skills and employment "The workforce has diverse skills"	Share of tertiary education across the labour force (OECD stat)	Outcome Quantitative	The proportion of the labour force with a tertiary education is a common proxy for measuring a region's capacity to generate innovation (OECD, 2013a), and hence is associated with higher levels of economic stability in the long term.	Resourceful
		City's unemployment rate (percentage of workingage population) (OECD stat – Better Life Index)	Outcome Quantitative	Unemployment.	
		Percentage of secondary education completion rate (adapted from ISO) or educational attainment (OECD stat)	Outcome Quantitative	Skills help citizens adapt to changes and cope in shock situations. Education positively impacts: communication, alert and awareness, health, labour and employment. Education fosters a greater range and quality of livelihood opportunities.	
		Percentage of people unemployed for more than six months who have access to a programme that is intended to improve their employment chances (European Union, 2015, as quoted in CRI, 2016)	Outcome Quantitative	"Helping city residents develop relevant skills and employability through matching skills with employment needs promotes placement, retention and promotion. It supports the city's economic stability by building a competitive and quality workforce" (City Resilience Index, 2016).	
ENVIRONMENT (natural and built)	Housing "Infrastructure is adequate and reliable"	Housing deprivation: percentage of population living in dwelling considered overcrowded, while: 1) leaking roof or damp walls, floors, foundations or rot in window frames and floor; 2) no bath or shower; or 3) too dark (Eurostat)	Outcome Quantitative	Housing quality. Poor and overcrowded housing is more susceptible to natural disasters, creates social exclusion, and creates mental and physical health risks.	Inclusive Robust
		Percentage of household income spent on housing by the poorest 20% of the population (University of Buffalo) (City Resilience Index, 2016)	Outcome Quantitative	Housing affordability. Adequacy includes access dimension. A higher value implies that the poorest are more at risk of losing access to housing in case of negative income shocks.	
		Percentage of houses which have passed local building code inspections	Outcome Quantitative	Compliance with housing safety standards designed and enforced at the local level indicates higher resilience to disasters and risks faced at the local context.	

Aspect	Dimension	Indicator	Type	Justification	Capacities
ENVIRONMENT (natural and built)		Percentage of housing units exposed to a high level of hazard that have been designed or retrofitted to withstand the force of the hazard	Outcome Quantitative	Retrofitting or designing houses that can properly withstand the expected level of hazard exposure is a prevention measure that makes infrastructure more robust.	Robust
	Temporary accommodation needs "Infrastructure is adequate and reliable"	Percentage of population that could be served by city's access to stock of emergency shelter for 72 hours (Arup, 2015)	Outcome Quantitative	Emergency sheltering capacity, comprising safe schools and hospitals, vacant housing units for rent and hotel/motel rooms.	Inclusive Flexible Robust
		Safe hazard shelter vs. expected public demand (Arup, 2015)	Output Quantitative	Expected sheltering needs.	
		Percentage per capita of food reserves within a city (including supermarket agreements) for 72 hours (percentage of the population which could be served) (UNISDR, 2014, as quoted in CRI, 2016)	Output Quantitative	Emergency food capacity.	
	Energy ³ "Infrastructure is adequate and reliable"	Average number of electrical interruptions per customer per year (ISO 37120)	Outcome Quantitative	Reliability of energy supply to daily needs, without frequent outages.	Robust Flexible
		Number of different supply sources providing at least 5% of electricity generation capacity (World Bank)	Output Quantitative	If a city receives its energy from a diverse range of sources, disruption to overall city supply will be less severe (City Resilience Index, 2016).	
		Number of days that city fuel supplies could maintain essential household functions (UNISDR, 2014, as quoted in CRI, 2016)	Outcome Quantitative	Spare energy capacity for emergencies, even if through alternative sources	
	Water "Infrastructure is adequate and reliable"	Proportion of population using safely managed drinking water services (SDG Indicator 6.1.1) (UN, 2017b)	Outcome Quantitative	Health and contamination risks, environmental quality.	Inclusive Robust Flexible
		Number of different supply sources providing at least 5% of water supply capacity (World Bank adapted from electricity)	Output Quantitative	Diversity of supply sources reduces impact of disruption in services and diminishes drought risk (Buurman, 2016).	
		Percentage of population with access to improved sanitation coverage (ISO 37120)	Output Quantitative	Health and contamination risks. Environmental quality.	

Aspect	Dimension	Indicator	Type	Justification	Capacities
ENVIRONMENT (natural and built)		Proportion of urban solid waste regularly collected and with adequate final discharge out of total urban solid waste generated (SDG Indicator 11.6.1) (UN, 2017b)	Output Quantitative	Health and contamination risks. Environmental quality.	
	Ecology	Estimated average exposure to air pollution (OECD stat) or PM ₁₀ concentration (ug/m ³) (ISO 37120)	Outcome Quantitative	Air pollution creates health risks. Environmental quality.	Robust
	Sustainable urban development	Percentage of wetland loss	Output Quantitative	Wetlands function as flood buffers. Flooding is the most frequent among all natural disasters, and its impacts in cities are especially harsh (Jha, Bloch and Lamond, 2012).	
	"Adequate natural resources are available"	Green area (hectares) per 100 000 population (ISO 37120) or average percentage of pervious surfaces	Outcome Quantitative	Permeable surfaces reduce the risk of floods, which destroy buildings and infrastructure. Green areas increase quality of life and well-being (sports, leisure and stress relief).	
	Access and transport	Proportion of population that has convenient access to public transport, by sex, age and persons with disabilities (SDG Indicator 11.2.1) (UN, 2017b)	Outcome Quantitative	Mobility facilitates access to health, employment, education. It also facilitates access to leisure and engagement in civic activities, which may foster social capital.	Redundant Flexible Inclusive Integrated
	"Infrastructure is adequate and reliable"	Percentage of households with at least one vehicle (Cutter, Ash and Emrich, 2014)	Outcome Quantitative	Evacuation capacity and increased individual mobility.	
		Number of arterial roads (km/km ²) (Cutter, Ash and Emrich, 2014)	Output Quantitative	Evacuation potential.	
		Death rated due to traffic road injuries (SDG Indicator 3.6.1) (UN, 2017b)	Outcome Quantitative	Road safety.	
INSTITUTIONAL	Risk-based planning "Government ensures citizens' participation and has a clear long-term vision"	Risk assessment report	Process Qualitative	Evaluation needs (disaster risk calculation), prior to any resiliencespecific policy design. A risk assessment report is a technical document of disaster risk calculation that identifies the different disaster risks the city is subjected to and the levels of vulnerability of the population (Jha, Miner and Stanton-Geddes, 2013).	Reflective Robust Integrated

Aspect	Dimension	Indicator	Type	Justification	Capacities
INSTITUTIONAL	City leadership that has sufficient capacity and flexibility to effectively manage emergencies.	Land-use plans that have been developed with reference to local hazard risk assessment and that have been subjected to a formal consultation process (Arup, 2015)	Process Qualitative	Risk-based, inclusive and participatory urban planning is central to an effective resilience-building strategy. Land-use plans include: master plan, hazard mitigation plan and emergency response plan. Formal consultation process involves high-risk minority population groups and technical experts.	
		Hazard-mapping efforts, including energy facilities and industrial uses	Process Qualitative	Evaluation needs (territorial dimension). Maps inform which territories are more affected by which type of risk, combined with demographic data. City leaders can thus better understand which the most vulnerable population groups are and what territories are particularly fragile, and plan accordingly (World Bank, 2013).	
INSTITUTIONAL	Awareness and alert "Citizens' networks in communities are active"	Multi-hazard early-warning system	Process Qualitative	Cost-effective measure to improve efficiency and consistency of warnings, thus improving emergency response to disasters (Jha, Miner and Stanton-Geddes, 2013).	Reflective Robust Resourceful
		Percentage of population that has received training on first-aid and emergency response skills in past two years	Process Quantitative	Training increases awareness and preparedness. It can be extensively carried out in schools, hospitals and the workplace.	
		Percentage of school children educated in disaster risk reduction (UNISDR, 2008)	Process Qualitative	Training increases awareness and preparedness.	
		Capacity-development platforms (online portal, brochures, guides, toolkits)	Process Qualitative	Information increases awareness.	
		Percentage of neighbourhoods with emergency groups (e.g. local Red Cross groups, voluntary firefighting associations, etc.) (adapted from USAID)	Process Quantitative	Local emergency groups organise residents and volunteers to prepare for and react to shocks and disasters. They contribute to higher local mobilisation and civic engagement. They have greater communication capacity among residents, which further contributes to raising awareness and preparedness levels.	
		Level of trust in government	Outcome Qualitative	Legitimacy and effectiveness of public decisions/messages.	
	Transparency and accountability "Government is open"	City open data portal, including budget, organisational structure, plans and projects of different policy sectors	Process Qualitative	Data access is a measure of the openness of government and increases accountability. Open data portals facilitate the development of community-based solutions to challenges.	Inclusive Reflective
		Percentage of access to Information requests processed within 90 days	Process Quantitative	Information access is a measure of the openness of the government and can foster civic engagement, trust and participation.	

Aspect	Dimension	Indicator	Type	Justification	Capacities
INSTITUTIONAL	“Collaboration with other levels of government takes place”	The country has mechanisms to ensure co-ordination across levels of government (OECD, 2017b)	Process Quantitative	“Effective collaboration with actors at all levels of government is critical to develop integrated, co-ordinated strategies that make best use of the resources available” (City Resilience Index, 2016).	Integrated Resourceful
		The country has formal horizontal mechanisms/incentives between subnational governments (OECD, 2017b)	Process Quantitative		
	Funding availability “The public sector has proper resources”	Percentage of buildings with insurance cover for high-risk hazards relevant to the city (UN-Habitat)	Outcome Quantitative	Insurance against disasters.	Resourceful
		Ten-year average per capita budget for mitigation projects (Cutter, Ash and Emrich, 2014)	Input Quantitative	Investment in mitigation.	
		Percentage of municipal budget spent in fire, police and emergency services (Cutter, Ash and Emrich, 2014)	Input Quantitative	Level of investment in emergency response.	
		Proportion of total government spending on essential services (education, health and social protection) (SDG Indicator 1.2.1) (UN, 2017b)	Input Quantitative	Level of investment in essential services that can provide education, health and social protection to residents, to fight the risks of poor health, homelessness, inadequate housing, unemployment, poverty and social isolation.	

Notes: Capacities column as set in the City Resilience Index Reference Guide (2016), developed by Arup and Rockefeller Foundation.

1. Information retrieved from: www.preventionweb.net/risk/poverty-inequality.

2. Information retrieved from: www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2015/en/gar-pdf/GAR15_Pocket_EN.pdf.

3. For a more complete metrics for energy resilience, see Roeger et al. (2014).

Sources: Arup (2015); Buurman, J. (2016); City Resilience Index (2016); Cutter, S.L., K.D. Ash and C.T. Emrich (2014); GFDRR (2017); ISO 37120, 2014; Jha, A.K., R. Bloch and J. Lamond (2012); Jha, A.K., T.W. Miner and Z. Stanton-Geddes (eds.) (2013); Klinenberg, E. (1999); Mölleryd, B. (2015); OECD (2013); OECD (2017); Roeger, P.E. et al. (2014); Tran, V.C. et al. (2013); UNISDR (2008); United Nations, Economic and Social Council, Statistical Commission (2017b); World Bank (2013).

ANNEXE 4 : INDICATEURS DU CRI (THE ROCKEFELLER FOUNDATION, 2015)

Goals	Indicators
Minimal human vulnerability	<ul style="list-style-type: none"> - Safe and affordable housing - Adequate affordable energy supply - Inclusive access to safe drinking water - Effective sanitation - Sufficient affordable food supply
Diverse Livelihoods and employment	<ul style="list-style-type: none"> - Inclusive labour policies - Relevant skills and training - Dynamic local business development and innovation - Supportive financing mechanisms - Diverse protection of livelihoods following a shock
Effective safeguards to human health and life	<ul style="list-style-type: none"> - Robust public health systems - Adequate access to quality healthcare - Emergency medical care - Effective emergency response services
Collective identity and community support	<ul style="list-style-type: none"> - Local community support - Cohesive communities - Strong city-wide identity and culture - Actively engaged citizens
Comprehensive security and rule of law	<ul style="list-style-type: none"> - Effective systems to deter crimes - Proactive corruption prevention - Competent policing - Accessible criminal and civil justice
Sustainable economy	<ul style="list-style-type: none"> - Well-managed public finances - Comprehensive business continuity planning - Diverse economic base - Attractive business environment - Strong integration with regional and global economies
Reduced exposure and fragility	<ul style="list-style-type: none"> - Comprehensive hazard and exposure mapping - Appropriate codes, standards and enforcement - Effectively managed protective ecosystems - Robust protective infrastructure

Goals (suite)	Indicators (suite)
Effective provision of critical services	<ul style="list-style-type: none"> - Effective stewardship of ecosystems - Flexible infrastructure - Retained spare capacity - Diligent maintenance & continuity - Adequate continuity for critical assets and services
Reliable mobility and communications	<ul style="list-style-type: none"> - Diverse and affordable transport networks - Effective transport operation and maintenance - Reliable communications technology - Secure technology networks
Effective leadership and management	<ul style="list-style-type: none"> - Appropriate government decision-making - Effective co-ordination with other government bodies - Proactive multi-stakeholder collaboration - Comprehensive hazard monitoring and risk assessment - Comprehensive government emergency management
Empowered stakeholders	<ul style="list-style-type: none"> - Adequate education for all - Widespread community awareness and preparedness - Effective mechanisms for communities to engage with government
Integrated development planning	<ul style="list-style-type: none"> - Comprehensive city monitoring & data management - Consultative planning process - Appropriate land use and zoning - Robust planning approval process